

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí 221

Diplomová práce

Student:

Bc. Veronika Vašková

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Roman Fojtík, PhD.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí 221

Zvýšení životnosti dřevěných konstrukcí vystavených povětrnosti
Increasing the life of wooden structures exposed to weather

Student:

Bc. Veronika Vašková

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Roman Fojtík, PhD.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Veronika Vašková**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb
Téma: **Zvýšení životnosti dřevěných konstrukcí vystavených povětrnosti**
Increasing the life of wooden structures exposed to weather
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická rozbor používaných metod.
2. Analýza realizovaných konstrukcí.
3. Návrh řešení a experimentální ověření.
4. Návrh a posouzení vybrané konstrukce.
5. Návrh a posouzení vybraných spojů.
6. Dokumentace navržené konstrukce včetně vybraných detailů.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [2] ČSN EN 1991-1-4: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná pravidla zatížení – Zatížení větrem.
- [3] ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [4] Koželouh, K.: Navrhování, výpočty a posouzení dřevěných stavebních konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ISBN:978-80-87093-73-3.
- [5] Odborné časopisy – Konstrukce, Stavitel, Stahlbau
- [6] Internet

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Fojtík, Ph.D.**

Datum zadání: 27.02.2015

Datum odevzdání: 30.11.2015


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 30. 11. 2015

.....
podpis studenta

Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO , která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 30. 11. 2015

.....
podpis studenta

Poděkování

Úvodem této diplomové práce bych ráda poděkovala panu Ing. Romanu Fojtíkovi, PhD. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování práce.

Další poděkování patří Ing. Janu Hurtovi za spolupráci při získávání údajů pro experimentální část této diplomové práce a Ing. Miroslavu Pinkovi za rady k vypracování grafického výstupu těchto experimentů.

V neposlední řadě bych ráda vyjádřila svůj velký dík mé rodině za podporu během celého studia.

Anotace

VAŠKOVÁ, V.: *Zvýšení životnosti dřevěných konstrukcí vystavených povětrnosti: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, 2015, s.142. Vedoucí práce: Fojtík, R.

Tato diplomová práce se je věnována aktuálnímu tématu využití dřeva ve stavebnictví. Pozornost byla zaměřena na konstrukce lávek pro pěší a cyklisty a zvyšování jejich životnosti.

Cílem této práce je zhodnocení předností a nedostatků dřeva a navržení možných opatření, která by vedla ke zvýšení užitné hodnoty a také životnosti dřevěných konstrukcí.

V této práci je věnován prostor také lepenému lamelovému dřevu, historii jeho vzniku a využití a také zhodnocení jeho předností.

Nalezneme zde také průběh a výsledky experimentálního měření nové izolační hmoty Polyurea. Cílem tohoto experimentu je zaznamenat chování izolačního materiálu i dřeva při jejich společném působení.

V poslední části se práce zabývá ověřením statického působení reálné konstrukce lávky ve Velkém Šenově.

Klíčová slova: dřevo, lepené lamelové dřevo, lávka, poruchy dřeva, ochrana dřeva, Polyurea

Abstract

VÁŠKOVÁ, V.: *Increasing the life of wooden structures exposed to weather: Diploma thesis.*
Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of construction, 2015, p.142. Supervisor: Fojtík, R.

This thesis is devoted to the actual topic of the use of wood in construction. Attention was focused on the construction of footbridges for pedestrians and cyclists and to increase their life span.

The aim of this study is to evaluate the strengths and weaknesses of wood and propose possible measures that would increase the utility value and service life of wooden structures. In this work it deals with also glued lamellar wood, the history of its creation and use, as well as an evaluation of its strengths.

Finally there is the conduct and results of experimental measurements of the new insulating materials Polyurea. The aim of this experiment is to record the behavior of the insulating material and the timber in their joint action.

The last part deals with the verification of static behavior of the real structure footbridge in Velký Šenov.

Keywords: wood, glued laminated timber, footbridge, disorders wood, wood protection, Polyurea

Struktura diplomové práce

A Textová část

B Výkresová dokumentace

- B.01 Lávka Velký Šenov - Situační výkres
- B.02 Lávka Velký Šenov - Půdorys nosné konstrukce
- B.03 Lávka Velký Šenov - Podélný řez
- B.04 Lávka Velký Šenov - Příčný řez u podpěry, příčný řez ve vrcholu
- B.05 Lávka Velký Šenov - Podélný řez terénem
- B.06 Lávka Velký Šenov - Detail A - Připojení příčníku na hlavní nosník

C Přílohy

- C1 Statický posudek - Lávka Velký Šenov
- C2 Zjednodušený posudek pro statickou a dynamickou zatěžovací zkoušku
- C3 Scia Report - Prutový model
- C4 Scia Report - Desko-stěnový model

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí 221

A Textová část

Obsah

Seznam použitého značení	14
1. Úvod	17
2 Mostní objekty.....	18
2.1 Základní názvosloví mostních objektů	18
2.2 Lávky pro pěší.....	18
2.3 Části mostní konstrukce	21
2.3.1 Spodní stavba	21
2.3.2 Nosná konstrukce	22
2.3.3 Mostní svršek.....	22
2.3.4 Mostní vybavení	22
2.4 Zatěžovací modely pro lávky pro pěší a cyklisty.....	23
2.4.1 Svislé zatížení	23
2.4.2 Vodorovné zatížení.....	23
2.4.3 Sestavy zatížení.....	24
2.5 Experimentální ověřování mostních konstrukcí.....	24
2.5.1 Statické zatěžovací zkoušky lávek pro pěší a cyklisty.....	25
2.5.2 Dynamické zatěžovací zkoušky lávek pro pěší a cyklisty	26
3 Dřevo.....	28
3.1 Stavba dřeva	30
3.1.1 Chemická stavba dřeva	31
3.1.1.1 Základní chemické sloučeniny obsaženy ve dřevě	31
3.1.2 Submikroskopická stavba dřeva	32
3.1.3 Mikroskopická stavba dřeva	33
3.1.4 Makroskopická stavba dřeva.....	33
3.2 Vlastnosti dřeva	35
3.3 Poruchy dřeva.....	39
3.3.1 Růstové vady dřeva	39
3.3.2 Degradace dřeva.....	40
3.3.2.1 Abiotické poškození konstrukčního dřeva.....	41
3.3.2.1.1 Atmosférické poškození.....	41
3.3.2.1.2 Termické poškození.....	43
3.3.2.1.3 Chemické poškození	44
3.3.2.2 Biologické poškození konstrukčního dřeva.....	44
3.3.2.2.1 Bakterie	44
3.3.2.2.2 Plísně a plísňové povlaky.....	45
3.3.2.2.3 Dřevozbarvující houby.....	45
3.3.2.2.4 Dřevokazné houby.....	45
3.3.2.2.5 Dřevokazný hmyz	50
3.3.2.2.6 Člověk	50
3.4 Ochrana dřeva a dřevěných konstrukcí v exteriéru.....	51
3.4.1 Fyzikální ochrana dřeva	51
3.4.2 Chemická ochrana dřeva	54
3.4.2.1 Historie chemické ochrany	58
3.4.2.2 Biocidy.....	58
3.4.2.2.1 Baktericidy.....	60

3.4.2.2.2	Fungicidy	60
3.4.2.2.3	Insekticidy	60
3.4.2.2.4	Nátěry proti povětrnosti	61
3.4.3	Modifikační ochrana dřeva	63
3.5	Životnost dřevěných konstrukcí	63
3.6	Lepené lamelové dřevo	64
3.6.1	Historie lepidel, spojování a lepení materiálů na bázi dřeva	64
3.6.2	Objev lepeného lamelového dřeva	65
3.6.3	Lepené lamelové dřevo v ČR	67
3.6.4	Lepený spoj	67
3.6.4.1	Lepidla	67
3.6.4.2	Lepidla v současnosti používaná na lepené nosníky	69
3.6.5	Výrobní proces	69
3.6.6	Lepené nosníky	71
4	Historie a současnost dřevěných mostů a lávek	73
4.1	Dochované historické dřevěné lávky a mosty u nás	74
4.2	Novodobá historie využívání dřeva u nás	79
4.3	Současnost využívání dřeva u nás	79
5	Životnost dřevěných lávek	87
5.1	Důsledky špatného konstrukčního návrhu	87
5.2	Důsledky nedostatečné údržby	88
5.3	Stav vybraných dřevěných lávek	89
6	Izolační systém Polyurea GME	94
6.1	Experimentální měření izolačního systému Polyurea GME	95
6.1.1	Vlhkost dřeva pod nástřikem	96
6.1.2	Odrhové zkoušky	100
6.1.3	Tahové zkoušky	102
6.2	Výsledky experimentu	107
6.2.1	Vlhkostní zkouška	107
6.2.2	Odrhová zkouška	107
6.2.3	Tahová zkouška	107
7	Dřevěná lávka Velký Šenov	108
7.1	Popis lávky	108
7.1.1	Založení	109
7.1.2	Uložení	109
7.1.3	Konstrukce lávky a její geometrie	109
7.1.4	Ošetření konstrukce	110
7.2	Statický výpočet	110
7.2.1	Zatížení	110
7.2.3	Posouzení mostiny	110
7.2.4	Posouzení podélníku	112
7.2.4	Posouzení příčnicku	112
7.2.5	Posouzení hlavního nosníku	113
7.2.6	Šroubové spoje	114
7.2.7	Výpočet svaru	115

7.3	Výpočtové MKP modely.....	116
7.3.1	Prutový model	116
7.3.2	Desko-stěnový model.....	117
7.4	Srovnání numerického výpočtu a MKP modelů.....	117
7.5	Zatěžovací zkoušky.....	120
7.5.1	Statická zatěžovací zkouška.....	120
7.5.1.1	Použité přístroje	120
7.5.1.2	Zatížení pro statickou zkoušku.....	120
7.5.1.3	Výsledky statické zkoušky	121
7.5.1.4	Srovnání vypočtených a naměřených výsledků.....	121
7.5.2	Dynamická zkouška.....	125
7.5.2.1	Použité přístroje	125
7.5.2.2	Zatížení pro dynamickou zkoušku.....	125
7.5.2.3	Výsledky dynamické zkoušky	126
7.5.2.4	Srovnání výsledků dynamické zkoušky	126
8	Závěr	129
9	Seznam pramenů	130
9.1	Seznam informací.....	130
9.2	Seznam obrázků	138
9.3	Seznam tabulek	141
9.4	Seznam grafů	141

Seznam použitého značení

A_w	účinná plocha svaru	$[m^2]$
$E_{0,05}$	pěti procentní kvantil modulu pružnosti	$[MPa]$
$F_{i,k}$	charakteristická hodnota síly	$[kN]$
$F_{i,d}$	návrhová hodnota síly	$[kN]$
$F_{v,Rk}$	char. únosnost jednoho spojovacího prostředku ve střihu	$[kN]$
I_y	moment setrvačnosti	$[m^4]$
L	rozpětí	$[m]$
M	celková hmotnost	$[kg]$
M_{Ed}	návrhový ohybový moment	$[kNm]$
M_i	ohybový moment	$[kNm]$
$M_{pl,Rd}$	ohybová únosnost	$[kNm]$
$MSÚ$	mezní stav únosnosti	
MSP	mezní stav použitelnosti	
$M_{y,Rk}$	plastický moment únosnosti spojovacího prostředku	$[N/mm]$
Q_k	charakteristické celkové spojité zatížení	$[kN/m]$
Q_d	charakteristické celkové spojité zatížení	$[kN/m]$
R_i	reakce	$[kN]$
V_{Ed}	návrhová smyková síla	$[kN]$
V_i	posouvající síly	$[kN]$
$W_{el,w}$	elastický modul průřezu svaru	$[m^3]$
W_y	modul průřezu	$[m^3]$
a	délka pole mostiny	$[m]$
a_1	nutná rozteč spojovacích prostředků rovnoběžně s vlákny	$[mm]$
a_2	nutná rozteč spojovacích prostředků rovnoběžně s vlákny	$[mm]$
$a_{3,c}$	nutná rozteč spojovacích prostředků rovnoběžně s vlákny	$[mm]$
$a_{3,t}$	nutná rozteč spojovacích prostředků rovnoběžně s vlákny	$[mm]$
$a_{4,c}$	nutná rozteč spojovacích prostředků rovnoběžně s vlákny	$[mm]$
$a_{4,t}$	nutná rozteč spojovacích prostředků rovnoběžně s vlákny	$[mm]$
a_w	účinná tloušťka svaru	$[mm]$
b	šířka prvku	$[m]$
b_{eff}	efektivní šířka	$[m]$
d	průměr spojovacího prostředku	$[mm]$

e	excentricita	[mm]
f_0	vlastní frekvence	[Hz]
$f_{c,90,k}$	charakteristická pevnost dřeva v tlaku kolmo k vláknům	[MPa]
$f_{c,90,d}$	návrhová pevnost dřeva v tlaku kolmo k vláknům	[MPa]
$f_{h,k}$	charakteristická pevnost v otláčení dřeva	[MPa]
$f_{m,k}$	charakteristická pevnost dřeva v ohybu	[MPa]
$f_{m,d}$	návrhová pevnost dřeva v ohybu	[MPa]
$f_{u,k}$	charakteristická pevnost oceli v tahu	[MPa]
$f_{v,k}$	charakteristická pevnost dřeva ve smyku	[MPa]
$f_{v,d}$	návrhová pevnost dřeva ve smyku	[MPa]
$f_{y,k}$	charakteristická mez kluzu oceli	[MPa]
g_k	charakteristické spojité zatížení	[kN/m]
g_d	návrhové spojité zatížení	[kN/m]
h	výška prvku	[m]
h_{nut}	nutná výška prvku	[m]
k_{cr}	součinitel vlivu trhlin	[-]
k_{def}	součinitel dotvarování	[-]
k_m	součinitel redistribuce napětí	[-]
k_{mod}	modifikační součinitel	[-]
l	délka prvku/svaru	[m]
l_{eff}	efektivní délka	[m]
m	hmotnost pro výpočet kmitání	[kg]
n	počet spojovacích prostředků	[ks]
n_{nut}	nutný počet spojovacích prostředků	[ks]
t	tloušťka	[mm]
β_w	korelační součinitel	[-]
γ_g	součinitel spolehlivosti stálého zatížení	[-]
γ_q	součinitel spolehlivosti užitného zatížení	[-]
γ_M	součinitel spolehlivosti stálého zatížení	[-]
γ_{M0}	součinitel spolehlivosti	[-]
γ_{M2}	součinitel spolehlivosti	[-]
μ	hmotnost na jednotku délky	[kg/m]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ_k	hustota	[kg/m ³]

$\sigma_{m,y,d}$	napětí v ohybu	[MPa]
σ_w	výsledné napětí svaru	[MPa]
σ_{\perp}	normálové napětí kolmé k podélné ose svaru	[MPa]
τ_{Ed}	smykové napětí	[MPa]
τ_{\perp}	smykové napětí kolmé k podélné ose svaru	[MPa]
τ_{\parallel}	smykové napětí rovnoběžné s podélnou osou svaru	[MPa]
ϕ_i	číslo zohledňující statické působení prvku v průhybu	[-]
ψ_2	kombinační součinitel	[-]
ω_0	kruhová frekvence	[rad/s]
ω_{inst}	okamžitý průhyb	[m]
$\omega_{inst,g}$	okamžitý průhyb od stálého zatížení	[m]
$\omega_{inst,q}$	okamžitý průhyb od užitného zatížení	[m]
$\omega_{net,fin}$	konečný průhyb	[m]
$\omega_{net,fin,g}$	konečný průhyb od stálého zatížení	[m]
$\omega_{net,fin,q}$	konečný průhyb od užitného zatížení	[m]

1. Úvod

Tato diplomová práce se je věnována aktuálnímu tématu využití dřeva ve stavebnictví. Pozornost byla zaměřena na konstrukce lávek pro pěší a cyklisty a zvyšování jejich životnosti.

Více než tisíciletí je dřevo osvědčený přírodní stavební materiál. Stejně jako má použití dřeva v inženýrských stavbách své přednosti (obnovitelný a ekologický materiál, vysoká estetičnost, dobrá pevnost vzhledem ke své hmotnosti), má i své nedostatky (degradace biotickými a abiotickými činiteli).

Cílem této práce je zhodnocení nedostatků dřeva a navržení možných opatření, která by vedla ke zvýšení užitné hodnoty a také životnosti dřevěných konstrukcí.

Abychom byli schopni navrhnout správná opatření a podmínky pro dlouhou životnost takovýchto konstrukcí, je nutné pochopit podstatu a chování dřeva za různých podmínek.

V úvodu se práce zabývá strukturou dřeva a jeho škůdci, dále pak následuje rozbor současného trendu výstavby dřevěných lávek a mostů. Nalezneme zde také rozbor některých konstrukcí, které nám mohou posloužit jako názorný příklad toho, jak by se s těmito konstrukcemi nemělo zacházet.

V této práci je věnován prostor také lepenému lamelovému dřevu, historii jeho vzniku a využití a také zhodnocení jeho předností.

Nalezneme zde také průběh a výsledky experimentálního měření nové izolační hmoty Polyurea. Cílem tohoto experimentu je zaznamenat chování izolačního materiálu i dřeva při jejich společném působení.

V poslední části se práce zabývá ověřením statického působení reálné konstrukce lávky ve Velkém Šenově. Jako podklad pro ověření únosnosti a spolehlivosti této konstrukce bude použito numerického výpočtu, dvou MKP modelů a výsledků z provedené statické a dynamické zatěžovací zkoušky. Následně také proběhne zhodnocení přesnosti jednotlivých metod posuzování nosných konstrukcí.

2 Mostní objekty

Dle terminologie normy [13] je mostní objekt součástí komunikace sloužící k překonání přírodní či umělé překážky. Mostní objekt je tvořen jedním i více vedle sebe postavenými mosty, propustkami nebo lávkami.

2.1 Základní názvosloví mostních objektů

- a) mosty - jsou mostní objekty s kolmou světlostí mostního otvoru rovnou nejméně 2,1 m
- b) propustky - jsou mostní objekty s kolmou světlostí mostního otvoru do 2,0 m včetně
- c) lávky pro pěší - jsou mostní objekty sloužící chodcům a cyklistům, nelze je zatěžovat silniční ani kolejovou dopravou, kromě přípustných vozidel (např. vozidlo pro údržbu)

2.2 Lávky pro pěší

Konstrukce lávky se liší od konstrukce mostu ve velikosti uvažovaného zatížení. Proto můžeme lávky dělit podobně jako mosty [24]. Můžeme je tedy dělit podle:

a) materiálu

- dřevěné
- kamenné
- betonové
- ocelové

b) plánované doby trvání

- trvalé
- zatímní

c) možnosti přemísťování konstrukce

- pevné
- pohyblivé
- plovoucí

d) geometrie půdorysu

- kolmé
- šikmé

e) průběhu trasy na lávce

- v přímé
- zakřivené

f) počtu polí

- lávky o jednom poli
- lávky o více polích

g) polohy mostovky

- s horní mostovkou
- s mezilehlou mostovkou
- se zapuštěnou mostovkou
- s dolní mostovkou

h) statického působení nosné konstrukce

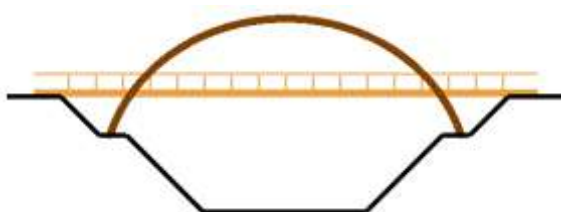
- prostý nosník
- obloukové
- příhradové
- vzpěradlové
- věšadlové
- visuté
- zavěšené



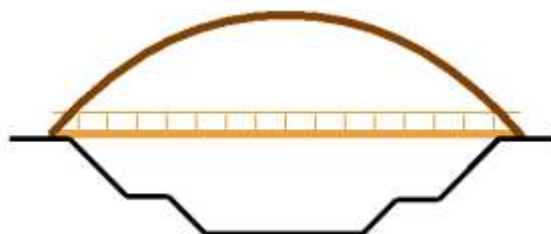
Obr. č. 1: Lávka o jednom poli (prostý nosník)



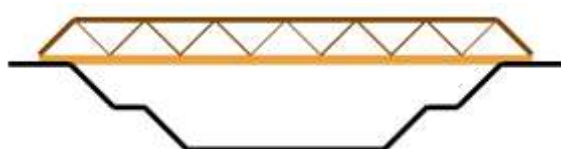
Obr. č. 2: Lávka oblouková s horní mostovkou



Obr. č. 3: Lávka oblouková s mezilehlou mostovkou



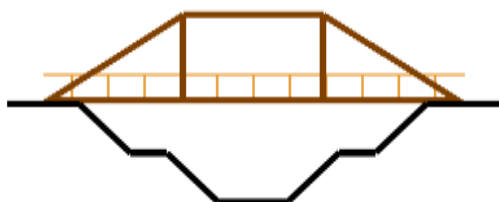
Obr. č. 4: Lávka oblouková s dolní mostovkou



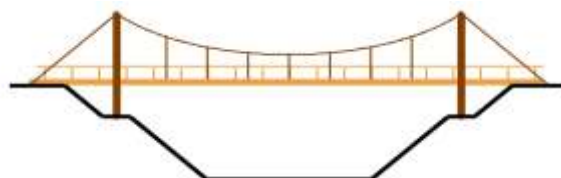
Obr. č. 5: Příhradová lávka



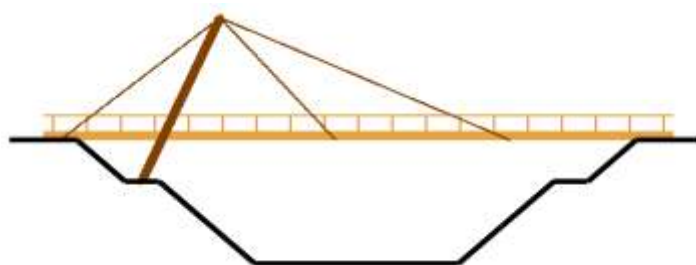
Obr. č. 6: Vzpěradlová lávka



Obr. č. 7: Lávka věšadlová



Obr. č. 8: Lávka visutá



Obr. č. 9: Lávka zavěšená

2.3 Části mostní konstrukce

Každá mostní konstrukce se skládá z několika základních částí. Jsou jimi spodní stavba, nosná konstrukce, mostní svršek a mostní vybavení.

2.3.1 Spodní stavba

a) základy - plošné - patky, pásy

- hlubinné - piloty, studně, kesony, podzemní stěny

b) podpěra - přenáší tlaky nosné konstrukce do základů

- může být svislá nebo nakloněná

- patří zde:

- stojka
- stěna
- pilíř
- sloup
- pylon
- bárka - dřevěná mostní podpěra

c) opěry - jsou krajními podpěrami

- musí zachycovat kromě sil z nosné konstrukce také zemní tlaky

- uzavírají okraj mostu vůči terénu

d) úložný práh - je to část podpěry, která přenáší podporové tlaky

e) závěrná zeď - část opěry, která uzavírá terén vůči nosné konstrukci

f) mostní křídlo - zeď či stěna navazující přímo na opěru

- u menších lávek se většinou nepoužívá

g) přechodová deska - zajišťuje plynulý přechod či nájezd na most

2.3.2 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce přenáší účinky zatížení z mostního svršku do spodní stavby.

a) hlavní nosná konstrukce - je ukládána prostřednictvím ložisek (někdy i přímo) na podpěry

b) mostovka - slouží jako nosný prvek pro mostní svršek

- má za úkol přenášet účinky zatížení z mostního svršku do hlavní nosné konstrukce

c) uložení mostu - je to způsob uložení, kterým nosná konstrukce dosedá na podpěru

- může být:

- přímé
- přes ložiska - přenáší podporové tlaky z hlavní nosné konstrukce do spodní stavby
 - mohou znemožňovat nebo umožňovat dilatační pohyby nosné konstrukce
 - může umožňovat posun, pootočení
 - musí být navržena tak, aby přenášela požadovanou velikost zatížení
 - musí být přístupná pro jejich kontrolu a údržbu, která by měla být prováděna pravidelně
 - pokud se zjistí jejich závada, je nutné ji neprodleně odstranit

2.3.3 Mostní svršek

Mostní svršek je část konstrukce, po které je realizován provoz na mostní konstrukci.

2.3.4 Mostní vybavení

K mostnímu vybavení patří mostní závěr, zábradlí, osvětlení, případně cizí vedení a další.



Obr. č. 10: Části mostu

2.4 Zatěžovací modely pro lávky pro pěší a cyklisty

Pro lávky pro pěší jsou vytvořeny samostatné modely zatížení, neplatí zde modely zatížení pro mosty.

2.4.1 Svislé zatížení

Pro lávky jsou normově [2] definovány tři vzájemně se vylučující modely svislého zatížení.

Rovnoměrné zatížení q_{fk}

Toto zatížení působí v podélném i příčném směru pouze na nepříznivé části příčinkových ploch.

V případě, že existuje nebezpečí vzniku statických účinků od davu lidí, je požadováno použití zatěžovacího modelu pro mosty - zatěžovací model 4. Charakteristická hodnota tohoto plošného rovnoměrného zatížení je 5 kN/m^2 . Toto zatížení již zahrnuje dynamický součinitel.

Pokud není požadován zatěžovací model 4, pak jsou hodnoty rovnoměrného zatížení následující:

$$q_{fk} = 2,0 + (120/(L+30)) \text{ kN/m}^2$$

$$2,5 \text{ kN/m}^2 \leq q_{fk} \leq 5,0 \text{ kN/m}^2$$

Soustředné zatížení Q_{fwk}

Charakteristická hodnota tohoto zatížení má být rovna 10 kN. V případě, že je zamezeno vjezdu vozidel, má být tato síla rovna 2 kN. Zatížení má působit na ploše $0,1 \times 0,1 \text{ m}$.

Zatížení představující obslužná vozidla Q_{ser}

Toto zatížení není potřeba aplikovat v případě, že je trvale zamezeno vjezdu všech vozidel na lávku. Pokud ovšem vjezdu vozidel nijak bráněno není, má se uvažovat jedno obslužné vozidlo. Doporučuje se použít model sestávající se ze dvou dvounáprav o velikosti 40 kN a 80 kN. Vzdálenost dvounáprav je 3 m a rozchod kol je pak 1,3m. Jednotlivé kola působí na ploše $0,2 \times 0,2 \text{ m}$.

2.4.2 Vodorovné zatížení

Toto zatížení působí v úrovni vozovky v podélném směru lávky. Velikost zatížení je buďto 10 % z celkového rovnoměrného zatížení nebo 60% z celkové tíhy obslužného vozidla.

2.4.3 Sestavy zatížení

Pro lávky pro pěší a chodce jsou definovány dvě sestavy zatížení (viz tabulka č. 1).

Tabulka č. 1

druh zatížení		svislé síly		vodorovné síly
zatěžovací systém		rovnoměrné zatížení	obslužné vozidlo	
sestava zatížení	gr1	q_{fk}	-	Q_{fwk}
	gr2	-	Q_{serv}	Q_{fwk}

2.5 Experimentální ověřování mostních konstrukcí

Se způsobem zatěžování a namáhání mostních konstrukcí také souvisí jejich experimentální ověřování. Jedná se o ověření, zda se daná konstrukce chová dle předpokladů, které jsou dány statickým posudkem a případně také výpočetním modelem.

Pro experimentální ověřování a posuzování spolehlivosti stavebních konstrukcí se používá termín zatěžovací zkouška. Obecně se u mostních objektů smí využívat pouze zkoušek takových, které jsou prováděny do dosažení únosnosti konstrukce, bez jejího poškození. Zkoušky se provádí dle normy [14] [15].

Příprava zatěžovací zkoušky

Před každou zatěžovací zkouškou by měl být zpracován program této zkoušky. Měl by být zpracován v dostatečném předstihu, aby mohl být schválen všemi odpovědnými osobami. V tomto programu má být jasně popsán postup zkoušení, pravidla pro vyhodnocování a posuzování konstrukce.

Zkušební protokol

Na závěr každé zkoušky se vypracovává zkušební protokol. Zkušební protokol by měl obsahovat tyto údaje:

- identifikační údaje osob a firem, které zkoušku provádějí
- identifikační údaje objednatele zkoušky
- účel, pro který byla zkouška provedena
- popis, jak a podle kterého předpisu či normy zkouška probíhala
- časové údaje a údaje o klimatických podmínkách zkoušky
- hodnoty naměřených veličin a popis sledovaných jevů
- popis použitých pomůcek a přístrojů, včetně jejich přesnosti
- fotografickou dokumentaci
- vyhodnocení zkoušky

2.5.1 Statické zatěžovací zkoušky lávek pro pěší a cyklisty

U statických zkoušek vyvozuje zkušební zatížení na konstrukci pouze statické účinky. Při těchto zkouškách by se měly co nejvíce omezit vlivy, které by jakýmkoliv způsobem mohly ovlivnit její výsledky. Pokud je není možno dostatečně omezit, musí být zapsány v protokolu, a při vyhodnocování by se také měly zohlednit. Měření by mělo být provedeno v takovém rozsahu, aby byly získány potřebné údaje. Samozřejmostí je použití vhodných přístrojů.

Při statických zkouškách lze užít různých druhů zátěží. Většinou se však užívá těleso, které je k dispozici, musí však být přesně známa jeho hmotnost. Pro zatěžování na lávkách se často užívá zásobníků naplněných vodou.

Postup necyklické zkoušky

- 1) Probíhá měření konstrukce zatížené pouze vlastní tíhou respektive měřicím zařízením, hodnoty se odečítají alespoň dvakrát, a to krátce před samotným zatěžováním.
- 2) Provede se umístění zatížení do určené polohy.
- 3) Před zahájením zkoušky, se zátěž musí nechat působit do doby, než se měřené veličiny ustálí, minimálně však po dobu T . Přesné hodnoty můžeme nalézt v normě [14].
- 4) Zahájí se zkouška, při které se zatížení sledované konstrukce zvýší o hodnotu G_s , která odpovídá hmotnosti zátěže. Odečítání hodnot se provádí v předem stanovených intervalech.
- 5) Provede se odlehčení.
- 4) Ihned po odlehčení se provede další odečtení hodnot. Poté se provádí odečítání hodnot v intervalech stejných, jako při zatěžování.

Postup vyhodnocení měřených údajů

Z naměřených hodnot se vypočítají celkové účinky S_{tot} na konstrukci jako součet trvalých (S_r) a pružných účinků (S_e) a poté se výsledek porovná s výpočtovými účinky S_{cal} . Konstrukce vyhovuje tehdy, jsou-li splněny všechny tyto podmínky:

$$\beta < \frac{S_e}{S_{cal}} < \alpha \quad (1)$$

$$\frac{S_r}{S_{tot}} \leq \alpha_1 \quad (2)$$

Pokud by těmto podmínkám konstrukce nevyhověla, je možno provést druhé a třetí zatěžování. Pakliže ani tato zatěžování nejsou ve shodě s vypočtenými hodnotami, je potřeba provést opatření dle normy, ve které také najdeme hodnoty α a α_1 [14].

2.5.2 Dynamické zatěžovací zkoušky lávek pro pěší a cyklisty

U těchto zkoušek vyvozuje zkušební zatížení na konstrukci pouze dynamické účinky. U lávek pro pěší a cyklisty se pak především provádí dynamická zkouška, při které se zjišťuje frekvence a vlastní tvary kmitání konstrukce.

Pro dynamické buzení na lávkách se využívá osob či skupiny osob, či jiných zatížení, která vyvolávají podobné účinky jako reálný provoz na těchto konstrukcích.

Provedení dynamické zkoušky není povinné, je však vhodné. Platí, že vyhodnocené údaje ze zatěžovací zkoušky mají být ve shodě s teoretickým výpočtem.

Jestliže jsou naměřené veličiny menší než 0,8 násobek teoreticky stanovených, je tato zkouška neplatná. Nastává tedy přezkoumání všech okolností, které ji mohly ovlivnit.

Při hodnocení dynamického chování se vychází z porovnání výsledků dynamické zkoušky a výsledků dynamického výpočtu vypracovaného s ohledem na způsob provádění dynamické zkoušky a použité dynamické zatížení.

Aby byla zkouška platná, musí být ve shodě všechny následující podmínky:

- zkouškou zjištěné frekvence se neliší od teoreticky stanovených frekvencí o odchylku $\Delta_{(j)}$, kterou lze vypočítat dle vztahu (3) a její mezní hodnoty lze nalézt v tabulce č. 2

$$\Delta_{(j)} = \frac{f_{teor} - f_{obs}}{f_{teor}} \cdot 100 \quad (3)$$

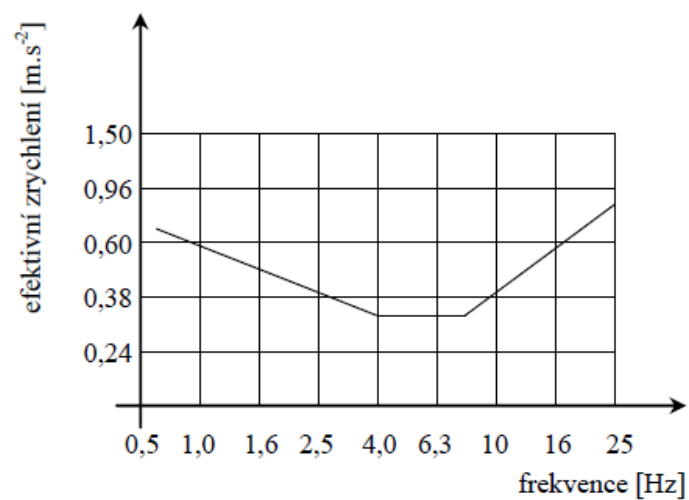
- zkouškou zjištěné vlastní tvary kmitání konstrukce mají shodný počet uzlových bodů s teoretickými tvary kmitání a uzly leží ve shodných polích konstrukce
- absolutní hodnoty amplitud měřené veličiny zjištěné zkouškou, jsou nejvýše rovny 1,1 násobku odpovídajících teoretických hodnot

Pokud tyto podmínky nebyly splněny, je nutno prozkoumat možnosti, které tento stav mohly způsobit.

Tabulka č. 2

			frekvence				
			f_1	f_2	f_3	f_4	$f_5 - f_n$
mezní odchylka	$\Delta(j)$	[%]	-15 až +5	-15 až +10	± 15	± 20	± 25

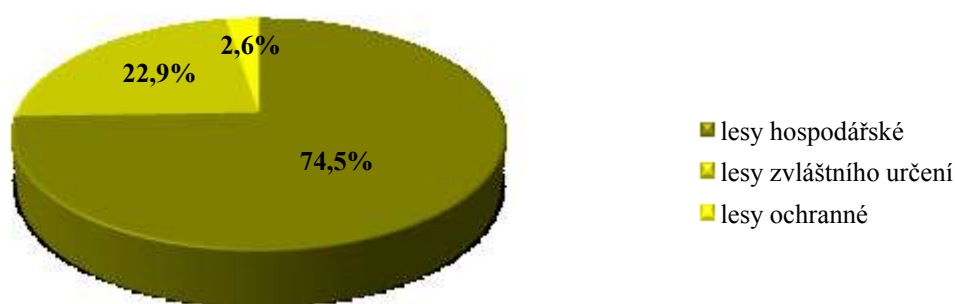
Další kritérium pro lávky pro pěší se pojí k účinku vibrací na lidský organismus. Graf č. 1 znázorňuje přípustné hranice hodnot efektivního zrychlení pro dané frekvence.



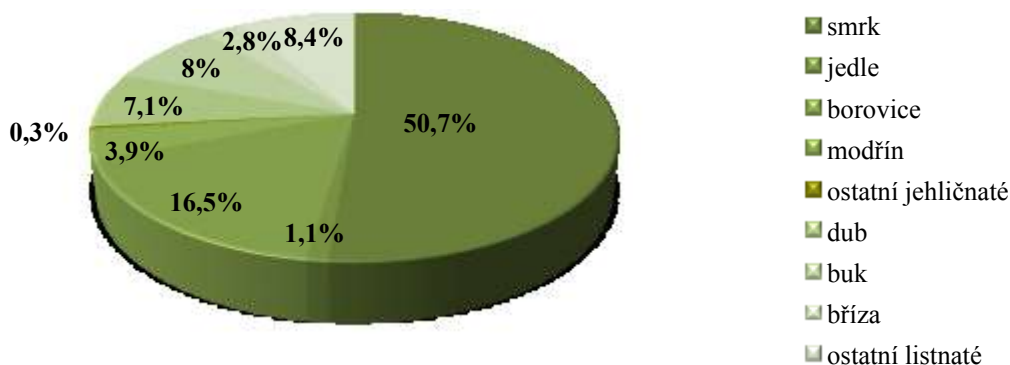
Graf č. 1

3 Dřevo

Dřevo je přírodní materiál, produkt rostoucích stromů. Lesy v ČR zaujímají rozlohu zhruba 2 663,8 mil ha. Což představuje asi 33,9% z celkové rozlohy státu. Česko tak patří k zemím s vysokou lesnatostí. Lesy, ve kterých se dřevo těží pro nejrůznější účely, jsou lesy hospodářské. Dále se u nás vyskytují lesy ochranné a lesy zvláštního určení. Hospodářských lesů je u nás nejvíce. Na našem území převažují dřeviny jehličnaté nad listnatými. Z jehličnatých dřevin převažuje smrk, z listnatých dřevin pak dub. [25][35]



Graf č. 2: Druhy lesů v ČR



Graf č. 3: Druhovú skladbu dřevin v ČR

Některé stromy se mohou dožít i několika stovek let. Dřevo pokácených a zpracovaných stromů však mívá přirozenou životnost menší. Jako každý organický materiál podléhá koloběhu života. Bývá vystaveno látkám a činitelům, kteří jej poškozují. Pokud se však použijí správná ochranná opatření a prostředky, můžeme tento koloběh na delší čas zastavit nebo jej alespoň značně zpomalit.

Dřevo je snadno dostupný materiál, který byl od nepaměti používán jako zdroj tepla, později na výrobu primitivních nástrojů a přístřeší. Jako základní stavební prvek má snad nejdelší historii.

Již naši předkové v dávných dobách se naučili dřevo zpracovávat a dokonce jej i ochraňovat proti povětrnosti, hmyzu i houbám. Uměli dřevo spojovat tesařskými spoji za pomoci sekyry či dláta a bez problému i bez jediného hřebíku. Všechno bylo založeno na citu a zkušenostech, které se předávaly z generace na generaci. I přes to jejich stavby přežívaly dlouhá staletí a některé přežívají dodnes.

Za moderními stavbami ze dřeva dnes stojí celý tým lidí, který využívá moderní výpočetní metody a nejnovější výrobní technologie. I přes všechny vymoženosti moderní doby však občas nedokáže zhotovit dílo, které by dosáhlo takové životnosti, jaké se od stavební konstrukce požaduje. Povětšinou je na vině právě lidský faktor, příroda vždy koná jen to, co je jí vlastní.

Dřevo má řadu předností:

- je obnovitelným zdrojem, který roste téměř všude
- na rozdíl od ostatních zdrojů je nevyčerpatelný
- je ekologicky odbouratelné
- má nízké energetické nároky na zpracování
- ve srovnání se svou hmotností vykazuje vysokou pevnost a tuhost
- má schopnost držet spojovací prostředky a dá se snadno lepit
- je vysoce estetickým materiálem s velkou přirozenou variabilitou barev a textury

Na druhou stranu má také jisté nedostatky:

- degradace biologickými činiteli
- hořlavost
- atmosférická koroze
- tvarové změny při změnách vlhkosti

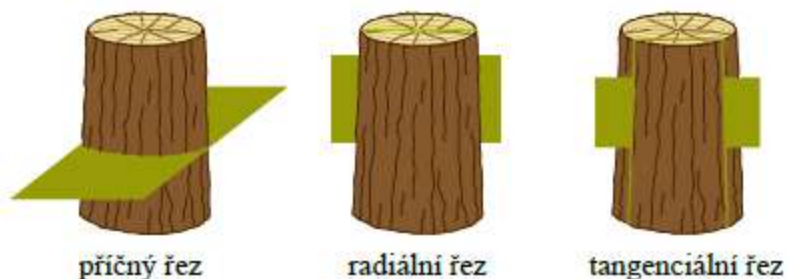
Všechny zmíněné nedostatky je však možno správnými opatřeními snížit na únosnou mez. Jestliže chceme ze dřeva vyrábět konstrukce s dlouhou životností, musíme pochopit jeho podstatu.

3.1 Stavba dřeva

Chceme-li porozumět vlastnostem a chování dřeva, musíme mít představu o jeho stavbě. Stavba dřeva se zkoumá ve třech základních řezech a směrech, dále pak na čtyřech úrovních.

Část stromu, která je využitelná pro zpracování například na řezivo, je kmen. Mezi základní řezy kmenem patří [58]:

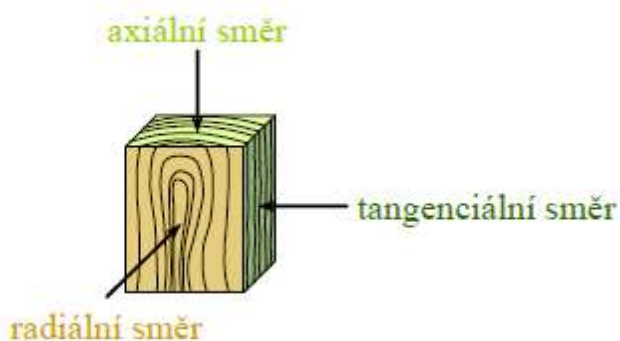
- příčný - transversální - je kolmý na podélnou osu kmene
- poloměrový - radiální - je kolmý na příčný řez, prochází středem kmene
- tečnový - tangenciální - je veden rovnoběžně na podélnou osu kmene, ale nikdy neprochází středem



Obr. č. 11: Řezy kmenem stromu

Dále je potřeba rozlišovat základní anatomické směry dřeva [58]:

- axiální - je rovnoběžný s osou kmene
- radiální - je vedený ve směru dřeňových paprsků
- tangenciální - má směr tečny k letokruhům



Obr. č. 12: Anatomické směry dřeva

Úrovně stavby dřeva:

- chemická
- submikroskopická
- mikroskopická
- makroskopická

3.1.1 Chemická stavba dřeva

Základními chemickými prvky ve dřevě jsou uhlík C, kyslík O, vodík H a dusík N. Jejich zastoupení se liší dle druhu dřeviny. Průměrné hodnoty jsou C = 49,5%, O = 44 %, H = 6 % a N = 0,3%. Ostatní látky, zastoupeny ve dřevní hmotě necelým jedním procentem jsou: draslík, sodík, vápník, fosfor, hořčík a jiné. [22] [38]

3.1.1.1 Základní chemické sloučeniny obsaženy ve dřevě

Celulóza

Svým chemickým složením je polysacharid. Je hlavním komponentem dřeva, který tvoří kostru buněčných stěn. Obsah celulózy v jehličnatých dřevinách je 45-50%, v listnatých dřevinách pak 40-45%. [22] [63]

Hemicelulóza

Stejně jako celulóza je hemicelulóza polysacharid. Je nejslabším prvkem ve dřevě z hlediska toho, že je rychle ničena UV zářením a houbami. [22] [63]

Lignin

Z chemického hlediska není dosud jasně definován. Dává dřevu pevnost lignifikací polysacharidů (celulóza, hemicelulóza), které jsou obsaženy v buněčných stěnách, přičemž se nejvíce ukládá do střední lamely a primární buněčné stěny. Lignin je málo odolný vůči UV záření. V jehličnanech představuje 25-30% objemu, v listnácích pak 20-25%. [22] [63]

Akcesorické (doprovodné) složky

Tyto látky najdeme uvnitř buněk i v mezibuněčných prostorech. Jsou různé chemické povahy. Mají vliv na barvu a vůni dřeva, ale také na fyzikální a mechanické vlastnosti. Mohou být jak organické, tak i anorganické. Organické látky jsou u našich dřevin zastoupeny 1-3 %, u tropických dřevin až 15%. Anorganické látky jsou u stromů našeho podnebí

zastoupeny asi 0,1-0,5%, u tropických dřevin až 5%. Anorganické látky tvoří po spálení popel. [22] [63]

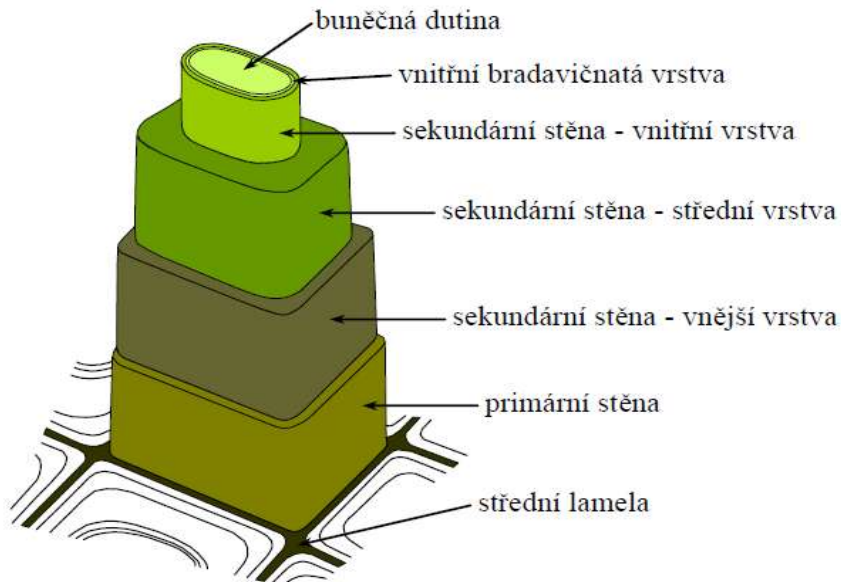
- organické - sacharidy (škrob, pektiny)
 - terpenoidy (terpentýn, kalafuna, kaučuk),
 - látky fenolického typu (třísloviny, flavonoidy, chinony, lignany)
 - dále alkaloidy, kyseliny, alkoholy, bílkoviny, tuky, vosky
- anorganické - vápenaté, draselné a hořečnaté soli

Voda

Poslední avšak důležitou základní chemickou sloučeninou je voda.

3.1.2 Submikroskopická stavba dřeva [22] [58]

Na této úrovni se zkoumá stavba jednotlivých buněk, za přítomnosti mikroskopu s velkým zvětšením. Buňka se skládá z buněčné stěny a buněčné dutiny. Buněčná stěna je složena ze tří vrstev, a to z primární stěny, střední lamely a sekundární stěny, přičemž sekundární stěna je složena také ze tří vrstev (viz obr. č. 13).



Obr. č. 13: Stavba buňky

3.1.3 Mikroskopická stavba dřeva [22] [58]

Zabývá se buňkami. Z hlediska jejich funkce rozlišujeme buňky:

- parenchymatické - vyživují a zásobují
- sklerenchymatické - vyztužují
- cévy - jsou to vodivé části
 - dále se dělí na pravé cévy (tracheje) a cévice (tracheidy)

Jehličnaté dřeviny jsou vývojově starší než listnaté, proto mají jednodušší morfologickou stavbu. Převládajícími buňkami jsou tracheidy (90-94%), zbytek dřevní hmoty tvoří buňky parenchymatické.

Listnaté dřevo má složitou morfologickou stavbu. Jejich dřevní hmota obsahuje buňky parenchymatické (2-15%), sklerenchymatické (36-76%), tracheje i tracheidy.

3.1.4 Makroskopická stavba dřeva [22] [58]

Většinu makroskopické stavby dřeva můžeme pozorovat pouhým okem nebo lupou. Na této úrovni stavby dřeva rozlišujeme kůru, kambium, dřev, letokruhy, běl, jádro a dřevové paprsky (viz obr. č. 14).

Kůra

Je soubor povrchových vrstev kmene, které obklopují jeho středové části. Má složitější stavbu než dřevo. Skládá se ze dvou základních vrstev:

- vnější (periderm) - je rozdělena taktéž na dvě vrstvy, a to na korkovou vrstvu (felém, který ochraňuje vnitřek kmene) a zelenou kůru (feloderm)
- vnitřní - lýko (floém) - vede látky, které jsou produkovány fotosyntézou

Mladý strom má kůru stromu hladkou, s věkem vnější vrstvy odumírají, odlupují se a vznikají v ní trhliny.

Kambium

Pouhým okem je neviditelné a je složeno z buněk, které mají schopnost dělení po celý život stromu. Svou periodickou činností zajišťuje tloušťkový přírůst dřeva a lýka.

Dřeň

Nachází se ve středu stromu (u pravidelně rostlého kmene). V prvních letech života stromu se podílí na vedení vody, její průměr je zhruba 2-5 mm. Nemá dobré mechanické vlastnosti, při vysychání vznikají směrem od dřeně tzv. dřeňové trhliny. U výrobků ze dřeva je její výskyt nepřipustný. Tvar se liší dle druhu dřeviny, může být kruhovitá, oválná, hvězdovitá apod.

Letokruhy

Jsou vytvářeny činností kambia. Obklopují dřeň a navazují na sebe. Skládají se ze dvou vrstev, a to z jarního a letního dřeva. Tyto dvě vrstvy lze většinou dobře vizuálně odlišovat. Jarní dřevo má světlejší barvu, letní dřevo pak tmavší. Tato barevná rozdílnost je dána jejich odlišnou anatomickou strukturou. Jarní dřevo má menší hustotu než dřevo letní. Hranice mezi jarním a letním dřevem může být jak ostrá tak i pozvolná. Typickým představitelem ostré hranice jarního a letního dřeva je modřín, pozvolnou hranici má například jalovec. Šířka letokruhu závisí jak na stáří stromu, tak i na podmínkách, ve kterých daný strom roste. V našich klimatických podmínkách představuje jeden letokruh jeden rok života stromu.

Běl

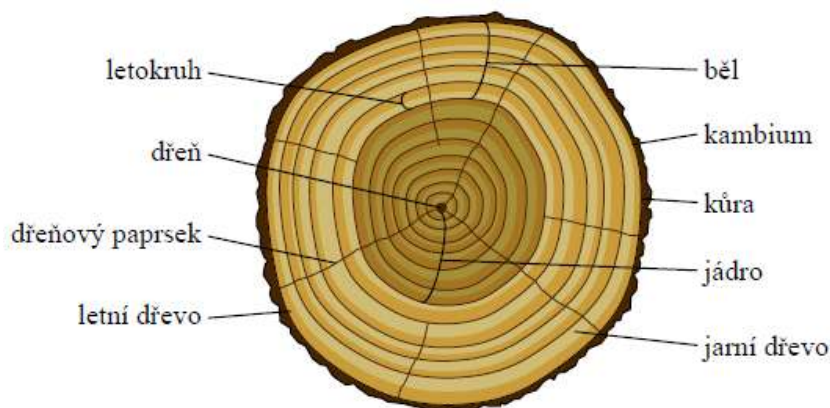
Je to vnější část dřeva, která přiléhá ke kambiu. Je složena z živých buněk. Vede vodu, ve které jsou rozpuštěné minerální látky, s tím souvisí její větší vlhkost, než v jiných částech kmene. Je méně odolná proti napadení houbami a hmyzu.

Jádro

Nachází se ve vnitřní části kmene. Prakticky lze tuto část považovat za mrtvou tkáň, která ztratila svou schopnost vedení vody. Je mnohem odolnější než bělová část. Hranice mezi bělím a jádrem může být náhlá (modřín) nebo pozvolná (ořešák).

Dřeňové paprsky

Můžeme je dělit na primární a sekundární. Primární paprsky vedou od dřeně až do lýka. Sekundární paprsky vznikají až v průběhu života stromu, a proto vedou některého z letokruhů opět až do lýka. Šířka dřeňových paprsků je závislá na druhu dřeviny. Za úkol mají horizontálně zásobovat kmen vodou a organickými látkami.



Obr. č. 14: Makroskopická stavba dřeva

3.2 Vlastnosti dřeva

Dřevo je nehomogenní materiál, což se projevuje na všech jeho úrovních - submikroskopické, mikroskopické (stavba buňky) i makroskopické (dřeň, jádro, běl,...). Dalšími nehomogenitami jsou růstové vady, kterými mohou být například suky.

Vlastnosti dřeva jsou závislé jak na orientaci, tak i na směru, což znamená, že je anizotropní. To se nejvíce projevuje při rozměrových změnách spojených s příjmem a výdejem vody, dále pak také v pevnosti dřeva.

Dřevo je velmi pórovité, jeho póry vytvářejí průchodný kapilární systém, který je možné zaplnit vodou. U některých dřevin je tato průchodnost snížena obsahem doprovodných látek, ale tyto mají zase za následek jejich obtížnější impregnovatelnost.

Současně je materiálem hydrokopickým, má tedy schopnost vázat na sebe vodu z okolního prostředí, která má za následek rozměrové změny.

Všechny uvedené charakteristiky mají vliv na vlastnosti dřeva, kterými jsou:

Hustota

Dřevo listnatých stromů má obvykle větší hustotu, než dřevo jehličnatých dřevin. Určuje se přibližným odhadem na základě hmotnosti vzorku. Podle tohoto odhadu můžeme rozlišovat tři druhy dřevin [58]:

- s nízkou hustotou (do 540 kg/m^3) - např.: borovice, smrk, jedle
- se střední hustotou ($540\text{-}750 \text{ kg/m}^3$) - např.: modřín, bříza, buk
- s vysokou hustotou (těžké) - nad 750 kg/m^3 - např.: habr, akát

Můžeme však nalézt výjimky, a to dřeviny s extrémně nízkou hustotou - balza (130 kg/m^3) a s extrémně vysokou hustotou - guajak (1360 kg/m^3).

Tvrдост

Schopnost dřeva klást odpor proti vnikání jiného tělesa do jeho struktury se nazývá tvrdost. Je závislá na druhu dřeva. Rozlišujeme pět skupin tvrdosti dřeva (čelní tvrdost při 12% vlhkosti) [58]:

- měkké (< 40 MPa) - např.: smrk, jedle, borovice
- středně tvrdé (41-80 MPa) - např.: jasan, dub, modřín
- tvrdé (81-100 MPa) - např.: habr, akát
- velmi tvrdé (101-150 MPa) - např.: šejík
- super tvrdé (>150 MPa) - např.: eben

Pevnost

Pevnost charakterizuje odolnost dřeva proti trvalému porušení. Vyjadřuje se velikostí napětí, při které dochází k porušení soudržnosti dřevní hmoty. Rozlišujeme pevnost dřeva v tlaku, tahu, ohybu a smyku. Tyto pak mají odlišné vlastnosti ve směru vláken a ve směru kolmém na vlákna. Pevnost dřeva je poměrně vysoká vzhledem k jeho hustotě v porovnání s jinými materiály. [22] [23]

Pružnost

Obecně je to schopnost materiálu nabývat původního tvaru po odstranění působení zatížení. Lze ji popsat moduly pružnosti E, G a Poissonovým číslem ν . [22] [23]

Plastičnost

Vyjadřuje schopnost měnit tvar vlivem působícího zatížení, bez zjevného porušení za vzniku trvalé deformace. U dlouhodobých zatížení začíná plastická deformace ve dřevě vznikat od počátku. Orientačně ji lze definovat pomocí velikosti plastické deformace. [22] [23]

Ohýbatelnost

Dřevo je poměrně lehce deformovatelné při působení ohybového momentu. Mírou ohýbatelnosti je poloměr oblouku, do kterého je možno dřevo ohnout, aniž by došlo k porušení. Obecně lze říci, že se lépe ohýbá dřevo listnatých stromů oproti dřevu jehličnatých stromů, což souvisí s jejich mikroskopickou stavbou. Pro snazší ohýbání se často užívá napařování či vaření dřeva. [22] [23]

Vlhkost

Vlhkost je přítomnost vody ve dřevě. Můžeme ji vyjádřit buďto jako vlhkost absolutní, nebo relativní. Absolutní vlhkost je vyjádřena podílem hmotnosti vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu. Relativní vlhkost je pak podílem hmotnosti vody ke hmotnosti mokrého dřeva.

Vodu z hlediska místa výskytu ve dřevě rozdělujeme na vodu:

- chemicky vázanou - je součástí chemických vazeb dřeva, nelze ji odstranit sušením, pouze spálením
 - představuje 1-2% ze sušiny dřeva
- hydroskopickou (vázaná) - je uložena v buněčných stěnách
 - při hodnocení fyzikálních a mechanických vlastností má zásadní význam
- kapilární (volná) - vyplňuje buněčné dutiny a mezibuněčné prostory
 - může se vyskytovat pouze tehdy, pokud se ve dřevě vyskytuje i voda vázaná

Dřevo je sorpční materiál, který na sebe dokáže vázat vlhkost z jeho okolí, čili vodu v plynném stavu. V souvislosti se sorpcí uvádíme pojem rovnovážná vlhkost. To je taková vlhkost, která je ustálená při daných podmínkách prostředí (relativní vzdušná vlhkost a teplota). Dřevo může vodu z okolí absorbovat (přijímat), a to v případě, že je jeho vlhkost menší, než je hodnota rovnovážné vlhkosti. Pokud je vlhkost větší než hodnota rovnovážné vlhkosti, probíhá desorpce (výdej). Tyto děje probíhají při každé změně podmínek prostředí.

Je to rovněž nasákavý materiál. Váže na sebe tedy také kapalnou vodu, a to prostřednictvím kapilár, což je dáno jeho pórovitostí. Čím více je dřevo pórovité, tím větší je jeho schopnost nasakovat vodu. Dřevo je plně nasáklé vodou, dojde-li k plnému nasycení vázanou vodou i volnou vodou a hovoříme o stavu maximální vlhkosti.

Ve dřevě rovněž může docházet k bobtnání, je to stav, kdy je překročena maximální vlhkost. Opačným procesem je pak sesychání dřeva. Při sesychání vzniká ve dřevě vnitřní napětí, které mají za následek vznik trhlin. Při sesychání či bobtnání dřeva dochází k takzvanému borcení dřeva. Jedná se o tvarovou změnu řeziva z rostlého dřeva, která vzniká nestejným sesycháním dřeva, což vyplývá z jeho anizotropie.



Obr. č. 15: Sesychání řeziva

Spolu se zvyšováním vlhkosti dřeva se snižuje jeho pevnost a odolnost vůči biologickým škůdcům. S častými výkyvy dochází k tvarovým a objemovým změnám. Nejmenší tvarové změny probíhají v podélném směru (0,15-0,65%), dále v radiálním směru (2,5-6,7%), největší změny pak probíhají v tangenciálním směru (8,3-14,7%). Všechny tyto zmíněné skutečnosti jsou nežádoucími jevy při použití dřeva v konstrukcích. [22] [23]

Hořlavost

Je to schopnost vznítit se, žhnout a hořet plamenem. Bod vzplanutí je nejnižší teplota dřeva, při níž se zahříváním vytvoří tolik plynů, že společně se vzduchem vytvoří směs, která při přiblížení plamene vzplane a při jeho oddálení opět zhasne. U dřeva je to teplota 180 - 275°C. Samovznícení a šíření ohně je u dřeva nastává při teplotě 330 - 470°C. Dřevo dlouhodobě neodolává teplotám vyšším nad 150°C. Při požárech však bývá tvarově i pevnostně stabilnější než kovy. Rychlost odhořívání se měří v mm/min. [23]

Vůně

Vůně je závislá na obsahu vonných látek. Takovými látkami jsou například éterické oleje, pryskyřice nebo třísloviny. Vůně jehličnatých dřevin je obecně intenzivnější než vůně listnatých dřevin. Praktický význam má vůně především v potravinářském průmyslu - výroba vína, medu, sýrů a jiných. [23]

Barva

Zbarvení způsobují látky uložené v buněčných dutinách nebo stěnách. Každý druh dřeviny má svou specifickou barvu. Těmito látkami jsou barviva, třísloviny a pryskyřice. Barva je velice proměnlivá a závisí na světle, vzduchu, vlhkosti a je podmíněna klimatickými

podmínkami. Barva je významná hlavně při výrobě nábytku, hudebních nástrojů nebo uměleckých děl. [23]

Textura

Stejně jako barva, je textura závislá na druhu dřeviny. Je to projev především makroskopické stavby dřeva. Ta je ovlivněna podmínkami, ve kterých daná dřevina roste. Dřevo listnáčů má oproti dřevu jehličnanů daleko rozmanitější a výraznější texturu, což je opět dáno jeho složitější stavbou. [23]

3.3 Poruchy dřeva

K poruchám dřeva můžeme zařadit jak vady růstové, tak i vady, které dřevu přibývají během jeho působení v konstrukci - degradací.

3.3.1 Růstové vady dřeva

Vady v dřevní hmotě vznikají již během růstu stromu. Patří mezi ně [23][66]:

Suky

Suky jsou zárodky větví, které jsou obrostlé dřevem. Vadami jsou z toho důvodu, že rostou kolmo na osu kmene a při sesychání dřeva mohou způsobovat vážné problémy. Dále také výrazně ovlivňují mechanické vlastnosti dřeva. Pokud jsou v daném výrobku nežádoucí, dojde k jejich odstranění.

Smolníky

Smolníky jsou čočkovité útvary, ve kterých se soustřeďuje větší množství pryskyřice. Vznikají jako reakce na předchozí poranění stromu. Jsou vadami, které zhoršují vzhled, porušují celistvost a znesnadňují opracování případně lepení dřeva. Smolníky mohou způsobovat problémy i několik let po zabudování dřeva do výrobku pronikáním pryskyřice přes jeho povrchové úpravy.

Sbíhavost

Jedná se o postupné zmenšování průměru kmene. Za normální se považuje zmenšení 1 cm tloušťky na 1 m délky kmene. Pokud se úbytek blíží 1,5 cm na 1 metr délky, jedná se o vadu. Sbíhavost zvětšuje množství odpadu vzniklého při zpracování.

Zploštění

Při zploštění má příčný řez kmene oválný tvar. Vzniká u stromů, které jsou jednostranně namáhány větrem, sněhem nebo ledovkou. Je považováno za vadu, jelikož mění anatomickou stavbu stromu a tím i fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva.

Boulovitost

Vada způsobená lokálním bujením tkáně stromů vlivem různých podráždění. Jsou dva typy boulí. Prvním typem jsou boule vzniklé růstovými poruchami a změnami, které vytváří svalovitou dřevní hmotu. Svalovitá dřevní hmota se projevuje zvlněným nebo spleteným průběhem dřevních vláken a je v některých oborech vysoce ceněna (nábytkářství). Druhým typem jsou boule vzniklé mechanickým poškozením či přítomností hub a bakterií, jsou absolutně nežádoucí.

Křivost

Jedná se o odchýlení podélné osy. Křivost bývá způsobena vlivem vnějšího prostředí (světlo, vítr, sníh,...). Snižuje výtěžnost dřeva a je příčinou odklonu vláken, které snižuje pevnost dřeva.

Točivost

Způsobuje to, že dřevní vlákna mají spirálovitý průběh kolem osy kmene. Je to velmi častá a závažná vada, která zhoršuje mechanické vlastnosti dřeva.

Reakční dřevo

Jedná se o místní změnu struktury dřeva, která je způsobena mechanickým namáháním kmene. Projevuje se jednostranným zvýšením podílu letního dřeva v letokruzích a také jeho výrazným zbarvením. Mají vliv hlavně na estetiku.

3.3.2 Degradace dřeva

Na dřevě můžeme pozorovat také vady, které jsou způsobeny degradačním procesem. Tento proces může mít různé původce, které nazýváme dřevokaznými činiteli. Existují dva základní druhy dřevokazných činitelů - biologičtí a abiotičtí.

Mezi biologické činitele patří: bakterie, houby, hmyz, hlodavci, ptáci a člověk.

Mezi abiotické činitele patří atmosférické vlivy (voda, kyslík, slunečné záření, změny teploty), termické vlivy (ohně, sálavé teplo) a chemické vlivy (kyseliny, zásady, oxidační látky).

Při poškození dřevokaznými činiteli dochází ke změně struktury dřeva. Tím se mění jeho pevnostní, estetické a další vlastnosti. Poškození dřeva může být lokální, ale také rovnoměrné v celém objemu.

Nejvýznamnější poškození jsou ta, která vznikají již na jeho molekulární úrovni. Naopak poškození na vyšších úrovních nemusí nutně znamenat nebezpečí. Při poškozeních na vyšší úrovni, jakými jsou například trhliny, se vlastnosti dřeva v okolí poškození nemění. Samozřejmostí je však posouzení míry těchto poškození.

Přirozená trvanlivost dřeva

Je to schopnost odolávat různým dřevokazným činitelům. Přirozená trvanlivost dřeva je ovlivněna:

- a) strukturou dřeva - je dána druhem dřeva i prostředím růstu stromu
- b) expozicí - tedy umístěním dřeva v konstrukci
- c) obsaženými látkami - ty mohou trvanlivost ovlivňovat kladně, ale i negativně

- *látky kladně ovlivňující trvanlivost*

Takovými látkami jsou například třísloviny (zvyšují odolnost vůči dřevokazným houbám a hmyzu) a živice (zvyšují odolnost dřeva vůči houbám, hmyzu a vznícení). Časem mohou ze dřeva vyprchávat, nebo se vymývat, a tím se může přirozená ochrana dřeva časem snižovat.

- *látky negativně ovlivňující trvanlivost*

Patří k nim dusík, hořčík, fosfor, draslík a síra (snižují odolnost vůči houbám).

3.3.2.1 Abiotické poškození konstrukčního dřeva

3.3.2.1.1 Atmosférické poškození

Atmosférické poškození dřeva může způsobovat voda, teplo, sluneční záření a nečistoty ovzduší.

Voda

Voda může v konstrukci působit nepříznivě hned z několika důvodů. Dřevo vodu absorbuje ve formě plynu - vzdušná vlhkost, může vodu nasakovat a v případě přesycení také

bobtná. Bobtnání je nevratný děj, který způsobuje tvarové změny. Dále zvýšená vlhkost připravuje živnou půdu pro biotické škůdce, jako jsou bakterie, plísně a houby. Dalším projevem je pak změna jeho barvy.

Teplo

Při tepelné degradaci dřevo ztrácí vodu chemicky vázanou. Dochází tak k zeslabování vazeb mezi vlákny, a tím i k pokles jeho pevnosti.

Sluneční záření

Sluneční záření je jedním z nejnebezpečnějších degradačních procesů, a to hlavně v UV oblasti. Způsobuje na chemické změny na povrchu dřeva. UV záření nejvíce pohlcuje lignin, který jím je degradován na nižší chemické látky a následně je vyplavován vodou. Tyto změny probíhají přibližně do hloubky 2,5 mm a projevují se zežloutnutím až zhnědnutím. V této hloubce zůstává vrstva odolná vůči další degradaci, která je šedě zbarvená a můžeme ji vidět po vyplavení vodou degradovaného ligninu (povrch je také zdrsňelý). Několik milimetrů pod touto vrstvou je již dřevo zcela nezasažené degradačními procesy.

Nečistoty ovzduší

Povrch dřeva vlivem nečistot ovzduší (vítr, led, písek, prach,...) nejen tmavne, ale také dochází k jeho erozi (obrušování). Eroze má za následek zpřístupňování nových a nových vrstev dřeva k atmosférické korozi.

Atmosférická koroze je přirozeným stárnutím dřeva vystavenému povětrnosti. Může probíhat v různé intenzitě, která je závislá na vlhkostních, tepelných a dalších podmínkách.

Podstatou atmosférické koroze je to, že všichni abiotičtí činitelé působí najednou a tím se znásobuje jejich účinek. Přičemž rozhodující vliv na stárnutí dřeva má voda a sluneční záření. Kyslík a nečistoty pak efekt stárnutí ještě zvyšují.

Cyklus atmosférické koroze je následující:

- 1) dochází k degradaci ligninu a částečně také hemicelulózy vlivem slunečního záření
- 2) vyplavení ligninu a dalších částečně degradovaných částic pomocí vody
- 3) mechanické obrušování vzniklé odolnější vrstvy
- 4) opakování předešlých kroků

Při atmosférické korozi vzniká plastická struktura dřeva a mění se také jeho barva (dřevo většinou tmavne), vznikají trhliny a další defekty hlavně na povrchu. To vše má za následek, že dřevo je snáze napadnutelné biologickými škůdci.

3.3.2.1.2 Termické poškození

Zapálení a hoření dřeva je opačný proces vzniku dřeva - při růstu dřeva dochází k fotosyntéze - tedy k tvorbě glukózy z oxidu uhličitého a vody. Při hoření je konečným procesem štěpení hořlavých plynů až na oxid uhličitý a vodu.

Proces hoření probíhá ve třech fázích:

- *iniciace* (vznícení)
Nad 100°C dochází ve dřevě k dehydrataci a při 130-150°C začíná jeho rozklad. (Při ohřevu na teplotu 200°C je čas vznícení 12- 40minut, při teplotě 300°C jen 1,5- 3,5 minuty. Z toho vyplývá, že tvarově menší prvky s menší tloušťkou se zapalují lehčeji, jelikož se dochází dříve k jeho přehřátí)
- *propagace* (šíření plamene po povrchu dřeva)
Při 180-195°C je rozklad intenzivní a začínají se uvolňovat hořlavé plyny, které vzplanou. Při 270-280°C začne probíhat exotermní rozklad, kdy vyvolané teplo vyvolává další hoření i bez vnějšího zdroje. Tento rozklad vytváří na povrchu dřeva dřevěné uhlí, jehož teplota je 400-500°C.
(Rychlost šíření plamene je větší na suchém dřevě s nízkou hustotou a drsným povrchem.)
- *terminace* (žhavení až po úplný útlum žhavení)
Zuhelnatělá vrstva obsahuje hodně uhlíku a neprodukuje již mnoho hořlavých plynů. Dále uhlík oxiduje až na oxid uhličitý, který je nehořlavý. Zuhelnatělá vrstva rovněž zpomaluje další hoření.

Látky ovlivněné hořením:

- hemicelulóza - rozkládá se už při teplotách pod 200°C
- celulóza - rozkládá se při teplotách nad 250°C
- při hoření celulózy vznikají hořlavé plyny
- lignin - rozkládá se při teplotách vyšších než 300-400°C

3.3.2.1.3 Chemické poškození

Chemické poškození vzniká působením kyselin, zásad a oxidačních látek. Působením chemikálií klesá pevnost. Pevnost je závislá na mnoha faktorech (druh dřeva, typ a koncentrace látky, doba působení,...). Důležité je, v čem je daná chemikálie rozpuštěna. Pokud je rozpuštěna v rozpouštědle, vlivem kterého nedochází k bobtnání dřeva, nedochází k významnému poškození. Pakliže je ale rozpouštědlem voda, dojde k nabobtnání dřeva, které usnadní působení chemikálie.

3.3.2.2 Biologické poškození konstrukčního dřeva

Biologičtí škůdci napadají dřevinu během jejího celého života. Méně ohrožujícími jsou bakterie, dřevozbarvující houby, plísňe a parazitické rostliny (např. mechy).

Existují dvě kategorie biologických škůdců:

- reducenti - bakterie a dřevokazné houby
 - rozkládající dřevo na oxid uhličitý a vodu
- konzumenti - dřevokazný hmyz
 - poškozují dřevo na makroskopické úrovni

3.3.2.2.1 Bakterie

Poškození dřeva je málo intenzivní. Pevnost ovlivňují pouze některé z bakterií a to jen v malé míře. Dřevo vlhké s určitým podílem kyslíku (nad úrovní terénu i v kontaktu s terénem) napadají aerobní bakterie (*Bacillus brevis*, *B. firmus*, *B. subtilis*, *Cellulomans flavigena*). [22]

Existují čtyři druhy bakterií [22]:

- *žijící z doprovodných látek dřeva* (nemají vliv na pevnost dřeva)
- *poškozující buněčné stěny dřeva* (snižují jeho pevnost)
- *působící na dřevě již poškozeném jinými biologickými škůdci*

Mohou působit dvěma způsoby, prvním z nich je ten, že pouze prohlubují účinky jiných dřevokazných škůdců. Druhou možností působení je to, že přímo produkují látky, které podporují růst jiných dřevokazných škůdců.

- *antagonistické*

Mohou mít pozitivní vliv na ochranu dřeva, vylučují totiž toxické nebo odpudivé látky, které potlačují růst jiných škůdců dřeva, dále mohou produkovat antibiotika, které mohou zastavovat či zpomalovat růst některých hub.

3.3.2.2.2 *Plísně a plísňové povlaky*

Napadají povrch dřeva ve formě práškovitého či vláknitého porostu. Dřevo znehodnocují především esteticky, kdy i po jejich odstranění zanechávají skvrny. Nepostihují fyzikální ani mechanické vlastnosti. Vytváří se při vyšší relativní vlhkosti vzduchu 85-99% a teplotách 27-37°C. [22]

3.3.2.2.3 *Dřevozbarvující houby*

Houby, které mění barvu dřeva ve formě skvrn nebo souvislých oblastí. Hloubka a intenzita průniku závisí na druhu houby, druhu dřeva a také na okolních podmínkách. Napadení dřeva těmito houbami nemusí nutně znamenat jeho poškození, vždy však snižují estetickou hodnotu dřeva (na konstrukčním dřevě se často objevuje šedé či černé zbarvení). V případě poškození, má dřevo zvýšenou permeabilitu (propustnost) a impregnovatelnost. Dřevozbarvující houby jsou indikátorem zvýšené vlhkosti. [22]

3.3.2.2.4 *Dřevokazné houby* [22][53] [54] [55] [56] [57]

Pro konstrukční dřevo jsou nebezpečné saprofytické houby, které se živí odumřelou organickou hmotou. Dřevokazné houby přeměňují převážný podíl dřeva na vodu a oxid uhličitý a při tom některé látky vytváří (bílkoviny, polysacharidy, alkaloidy a tuky), syntetizují (enzymy, chitin, pigmenty a mykotoxiny). Vytváří také teplo.

Houby mohou být i zdraví škodlivé lidskému organismu, protože při rozkladu dřevní hmoty syntetizují mykotoxiny, které mohou vyvolávat alergie a jiné zdravotní komplikace.

Obsah látek ve dřevě a jejich vliv na růst hub

Ve dřevě je obsažen dusík, který má pozitivní vliv na růst hub. Naopak obsah oxidu uhličitého pomáhá růst hub zastavovat. Saprofytické houby k životu potřebují kyslík (zhruba 4%), pokud obsah kyslíku ve dřevě klesne pod tzv. kritickou hranici, růst hub se zastaví. Zároveň houby napadají pouze dostatečně vlhké dřevo (základní složkou těla hub je z 90% voda, ta je potřebná také pro transport některých látek).

Podmínky pro růst hub

Teplota má zásadní vliv na rychlost růstu hub. Pokud na konstrukci působí přímé UV záření, působí to na růst hub nepříznivě, naopak nepřímé UV záření podporuje degradační činnost hub a má pozitivní vliv na jejich množení. Naopak v úplné tmě se množení hub úplně zastavuje (netvoří se plodnice). Poloha a orientace plodnic je často závislá na směru osvětlení konstrukce.

Dřevokazné houby poškozují dřevo rozkladem buněčné stěny, což způsobuje hnilobu. Ta je nebezpečná z důvodu změny struktury, tím i vlastností dřeva.

Existují tři druhy hniloby:

- hnědá
- bílá
- měkká

U dřevěných konstrukcí v exteriéru se ve většině případů vyskytuje hnědá hniloba a v menším měřítku pak i bílá hniloba.

Hnědá hniloba

Hnědou hnilobu způsobují houby živící se intenzivně celulózu a hemicelulózu, minimálně ligninem. Nejvíce bývá poničena buňka na úrovni sekundární stěny, a to kvůli vysokému obsahu celulózy. Následkem toho se buněčné stěny stávají křehkými, smršťují se a vznikají v nich trhliny. I přes tato poškození si buňky zachovávají celistvost až do vysokých stádií hniloby díky primární stěně buňky, která je z ligninu, který se tak intenzivně při hnědé hnilobě nerozkládá.

V počáteční fázi rozkladu je dřevo načervenalé až rezavě červené a postupně hnědne. Ve střední fázi rozkladu výrazně klesá pevnost dřeva, kdy se stává měkkým, křehkým a snadno lámavým. V konečné fázi rozkladu je dřevo velmi křehké a měkké, lom je zcela hladký. U hnědé hniloby pozorujeme zřetelný kostkovitý rozklad (způsobený ztrátou objemu), případně také může docházet ke drobení dřeva či rozpadu na prach.

Fyzikální vlastnosti napadeného dřeva - zvýšená nasákavost, zvýšená propustnost a impregnovatelnost, schopnost sorpce vody se výrazně nemění.

Houby způsobující hnědou hnilobu na dřevěných konstrukcích v exteriérech:

- *trámovka jedlová (Gloeophyllum abietinum)*
 - napadá jehličnaté dřevo - především smrk a jedli
 - podmínky růstu: teplota 5-36°C, optimálně 26-29°C
vlhkost 25-30%, optimálně 50%
 - pro její zničení je potřeba teploty alespoň 80°C
 - přežívá i při několikaletém vysušení dřeva, při každém zvýšení vlhkosti však obnovuje svůj růst a destrukční činnost
 - je nebezpečná z důvodu šíření hniloby od jádra k povrchu, pokud nacházíme plodnice této houby, prvek bývá vevnitř již zcela prohnílý
- *trámovka plotní (Gloeophyllum sepiarium)*
 - napadá jehličnaté dřevo - především smrk, jedli a borovici
 - podmínky růstu: teplota 5-45°C, optimálně 35°C
vlhkost 50%
 - pro její likvidaci je potřeba alespoň 70-80°C
 - přežívá i při několikaletém vysušení dřeva, při každém zvýšení vlhkosti však obnovuje svůj růst a destrukční činnost
 - plodnice vyrůstají z trhlín dřeva
 - přednostně roste na odvrácené straně od přímého světla
 - je nebezpečná z důvodu šíření hniloby od jádra k povrchu, pokud nacházíme plodnice této houby, prvek bývá vevnitř již zcela prohnílý
- *koniofora sklepní (Coniophora puteana)*
 - vyskytuje se na konstrukcích, které jsou v kontaktu se zeminou
 - podmínky růstu: teplota alespoň 23°C
vlhkost 34-46%
 - šíří se směrem od povrchu k jádru
- *houževnatec šupinatý (Neolentinus lepideus)*
 - napadá jehličnaté dřevo - především borovici, smrk, jedli a modřín
 - podmínky růstu: teplota 8-37°C, optimálně 27-29°C

- *čechratka sklepní (Paxillus panuoides)*
 - napadá jehličnaté dřevo - především borovici
 - podmínky růstu: teplota 5-29°C, optimálně 23-26°C
vlhkost 50-70%
 - většinou nezpůsobuje větší škody
- *kropilka rosolovitá (Dacrymyces stillatus)*
 - vyskytuje se na jehličnatém dřevě
 - obvykle vyrůstá z drobných prasklin



Obr. č. 16: Trámovka jedlová



Obr. č. 17: Trámovka plotní



Obr. č. 18: Koniofora sklepní

Bílá hniloba

Bílou hnilobu způsobují houby intenzivně živící se ligninem, v menší míře pak celulózu a hemicelulózu. Při napadení bílou hnilobou má dřevo bílou až žlutou barvu. Dřevo v konečné fázi vypadá jako houba, přičemž objem dřeva je zachován, nebo mírně zmenšen. Fyzikální vlastnosti napadeného dřeva - zvýšená nasákavost, zvýšená propustnost a impregnovatelnost, snížená schopnost sorpce vody.

Má dvě formy:

- **korozivní** - lignin, celulóza a hemicelulóza se odbourává souběžně
 - postup rozkladu v této formě bílé hniloby je směrem od buněčné dutiny ke střední lamele, kdy jako první vznikají prohlubně v buněčných stěnách, poté i díry
 - tento rozklad dřeva je nerovnoměrný
- **delignifikační** - nejprve se odbourává lignin a poté až celulóza a hemicelulóza
 - rozklad začíná ve střední lamele a poté prostupuje buněčnými stěnami
 - může se vyskytovat pouze lokálně, v tomto případě se nazývá voštinovou hnilobou

Houby způsobující hnědou hnilobu na dřevěných konstrukcích v exteriérech:

- *outkovka pestrá (Trametes versicolor)*
 - napadá listnaté dřeviny, kromě těch, které obsahují mnoho tříslovin
 - napadá dřevo exteriérových konstrukcí ve styku se zemí
 - podmínky růstu: teplota 5-38°C, optimálně 26-29°C
vlhkost 40-50%
 - přežívá delší období sucha
- *sítkovec dubový (Daedalea quercina)*
 - napadá listnaté dřevo - nejčastěji dubové, méně pak akátové a kaštanové
 - nejčastěji napadá dřeviny, které obsahují určitý podíl tříslovin
 - podmínky růstu: teplota 23-29°C
vlhkost 40-50%
- *klanolístka obecná (Schizophyllum commune)*
 - napadá především listnaté dřevo, vzácně i jehličnaté dřevo - borovici, smrk
 - podmínky růstu: teplota 30-35°C
vlhkost 50-70%
 - krátkodobě odolává i nízké vlhkosti a extrémní povětrnosti
- *pevník chlupatý (Stereum hirsutum)*
 - napadá hlavně listnaté dřevo, vzácně pak jehličnaté dřevo - borovici, modřín
 - podmínky růstu: teplota 3-35°C, optimálně 25°C
 - vyskytuje se na mokřém dřevě



Obr. č. 19: Outkovka pestrá



Obr. č. 20: Pevník chlupatý

3.3.2.2.5 Dřevokazný hmyz [53] [54] [55] [56] [57]

Hmyz způsobuje ve dřevní hmotě tzv. požerky, což jsou chodbičky, které si hmyz vytváří například pro kladení a vývoj larev. Na konstrukčním dřevě se živí pouze techničtí škůdci (požírají pouze mrtvé dřevo). Vlivem požerek klesají mechanické vlastnosti dřeva v závislosti na míře poškození a dále také záleží na lokaci v konstrukci a na orientaci poškození vzhledem k zatížení. V okolí požerek dřevo obvykle nemění svou strukturu a tím se zachovávají jeho fyzikální vlastnosti ve zbytcích dřevní hmoty. Požerky jsou však také místem, kde lehce vniká voda a vytváří se tak živná půda pro dřevokazné houby.

Zástupci působící na konstrukcích v exteriéru:

- *Tesařík krovový* (*Hylotrupes bajulus*)
- *Tesařík zavalitý* (*Ergates faber*)
- *Červotoč kostkovaný* (*Xestobium rufivillosum*)



Obr. č. 21: *Tesařík krovový*



Obr. č. 22: *Tesařík zavalitý*



Obr. č. 23: *Červotoč kostkovaný*

3.3.2.2.6 Člověk

Významným biologickým škůdcem je i člověk. Člověk zapříčiňuje poškození konstrukcí:

- špatným konstrukčním návrhem
- nekvalitní realizací
- zanedbanou či chybějící údržbou
- vandalismem

3.4 Ochrana dřeva a dřevěných konstrukcí v exteriéru [22]

Odolnost dřeva vůči degradaci je dána nejen strukturou dřeva, významně ji také ovlivňuje umístění dřevěného prvku v daném prostředí - expozice. Dalšími důležitými faktory je konstrukční řešení a údržba konstrukcí. Struktura dřeva má vliv na jeho vlastnosti a trvanlivost - odolnost vůči abiotickým a biologickým poškozením. Na struktuře a expozici dřeva pak závisí druh a rozsah jeho ochrany.

Ochrana dřeva, je soubor opatření na zachování nebo i zlepšení užitných vlastností dřeva. Jejím cílem je vytvořit ve dřevě a jeho okolí takové podmínky, které jsou nepříznivé pro působení degradačních činitelů a zvýšit tím jeho přirozenou trvanlivost. Metody ochrany dřeva dělíme na:

- fyzikální
- chemické
- modifikační

Je důležité dosahovat přiměřené trvanlivosti dřeva účelně a takovou technologií, při které se nezatíží životní prostředí a upravené dřevo je zdravotně nezávadné.

3.4.1 Fyzikální ochrana dřeva

Je to soubor opatření, který má za cíl vytvořit ve dřevě takové podmínky, které znemožňují či výrazně omezují přežití biologických škůdců, popřípadě takové podmínky, aby škůdce nebyl aktivní. Dále má za úkol vytvářet takové podmínky, při kterých abiotičtí činitelé nepůsobí na dřevo nebo je jejich působení co nejmenší.

Fyzikální ochrana se vždy používá jako první způsob ochrany, neměly by ji nahrazovat další způsoby ochrany, pouze by ji měly vhodně doplňovat.

Patří zde tyto metody:

a) suchá ochrana

Cílem suché ochrany dřeva je co nejrychleji po těžbě snížit jeho vlhkost pod hodnoty, které zabraňují aktivitě biotických škůdců. Hranice vlhkosti je pro plísně přibližně 25%, houby 20% a hmyz 10%. Tyto hodnoty by se pak měly udržovat v celém cyklu použití dřeva - od jeho zpracování, uskladnění až po zabudování do konstrukcí. Použití tohoto způsobu fyzikální

ochrany je u konstrukcí v exteriéru nerealizovatelný, jelikož je zde konstrukce vystavena dešti, sněhu případně ledu. [50] [58]

b) mokrá ochrana

Cílem mokré ochrany dřeva je dodat do dřeva takové vlhkosti, při které je ve dřevě nedostatek kyslíku, který je nutný pro život dřevokazných hub a hmyzu. Toto opatření se v praxi používá pro ochranu kulatiny před jejím zpracováním, pro konstrukce se nepoužívá. [50]

c) sterilizace dřeva fyzikálními metodami

Patří pouze k dočasné ochraně dřeva, jelikož nezabrání napadení škůdci po jejím provedení a následném umístění dřevěného prvku do prostředí příznivého pro škůdce. Ke sterilizaci se používá zvýšená teplota, opalování, ozařování, působení ultrazvuku (zabíjí pouze hmyz), zaplynování toxickými vlivy.

Zvýšená teplota se aplikuje ve formě umělého sušení dřeva, ohřevu sálavého tepla nebo ohřevu mikrovlnami, zvýšením teploty se zabíjí všechny živé organismy. Opalování dřeva má hned několik účinků. Prvním z nich je zabití škůdců při povrchu dřeva zvýšenou teplotou, respektive ohněm. Dále se vytváří zuhelnatělá vrstva dřeva, která tvoří bariéru pro další vnikání škůdců. A posledním účinkem je vznik plynů při zuhelnatění dřeva, které jsou toxické pro hmyz i houby.

Ozařování může být realizováno pomocí gama nebo rentgenového záření. Obě tato záření mají škodlivé účinky na všechny organismy. Z toho plynou i složité bezpečnostní opatření při provádění. Jejich výhodou však je, že pronikají velmi hluboko do dřeva. Dále se může ozáření provádět pomocí UV záření. To se používá pouze k povrchové sterilizaci dřeva (například proti plísním).

Pro sterilizaci zaplynováním se používají toxické plyny, kterými jsou například metylbromid, kyanovodík, oxid uhličitý (zabíjí pouze hmyz). Tento způsob není dost dobře možné použít na konstrukcích umístěných v exteriéru.[50]

d) konstrukční ochrana

Podstatou konstrukční ochrany je zamezit zvyšování vlhkosti v konstrukcích. U dřevěných konstrukcí trvale vystavených přímému dešti, je nutné zabránit zatékání a zdržování vody na konstrukci a zároveň umožnit její rychlý odtok. Dalším důležitým bodem

konstrukční ochrany je správný výběr druhu dřeva, navržení vhodných tvarů dřevěných prvků a jejich uspořádání a také zvolení vhodných konstrukčních detailů v konstrukci. [22] [50]

e) sanace poškozeného dřeva

Poslední možností fyzikální ochrany dřeva je jeho sanace. Tento druh ochrany již problémům nepředchází, ale napravuje škody již vzniklé. Nepatří tedy mezi preventivní ochranu.

Sanace při napadení dřevokaznými houbami

Tuto sanaci je možno provést několika způsoby:

- odstraněním shnilých částí dřeva
- použitím chemických látek
- použitím vysoké teploty
- použitím ionizačního záření
- zabráněním přístupu vzduchu

U inženýrských konstrukcí se používá především odstranění a nahrazení zničených částí a dále použití chemických fungicidních prostředků. Hniloba se musí důkladně odstranit, a to alespoň 30-50 centimetrů od její viditelné hranice, jako doplňková ochrana se ještě použijí fungicidy, aby bylo možno předpokládat, že byly všechny zárodky hub zničeny. Důležité ale také je, aby byl zjištěn zdroj vlhkosti, který umožnil výskyt hub a dále aby byl ten to zdroj vlhkosti také odstraněn. [50] [58]

Sanace při napadení dřevokazným hmyzem

Tato sanace se provádí obdobně jako sanace při napadení konstrukce houbami. Rozdílem však je, že postačí odstranit a nahradit části pouze přímo napadené, a to pouze v případě hlubokého a velkého poškození. V případě povrchového poškození postačí dřevo osekát od poškozených částí, samozřejmě pouze za předpokladu, že prvek zůstává staticky stabilní. V případě, že se na dřevě vyskytují pouze požerkové otvory, ale dřevo zůstává pevné, stačí pouze chemická ochrana. Musí se však zjistit, zda je hmyz v konstrukci ještě přítomen, či nikoliv a podle toho se pak zvolí druh chemické ochrany. [22] [50]

3.4.2 Chemická ochrana dřeva

Chemická ochrana dřeva zvyšuje přirozenou trvanlivost dřeva. K ošetření chemickými prostředky se přistupuje až po vyčerpání možné fyzikální ochrany. Látky mohou být jak přírodní tak dnes hlavně syntetické.

Rozdělení látek podle účinku:

- baktericidní (proti bakteriím)
- fungicidní (proti houbám)
- insekticidní (proti hmyzu)
- inhibitory povětrnostní koroze (zvyšují odolnost vůči atmosférickým vlivům)
- inhibitory chemické koroze (zvyšují odolnost vůči chemickým látkám)
- retardéry hoření

Chemické prostředky mohou sloužit dvěma způsoby:

- jako dlouhodobá ochrana dřeva (má preventivní účinky)
- jako krátkodobá ochrana dřeva (pro likvidaci již napadeného dřeva)

Označení chemických prostředků dle účinnosti [59]:

- F_a (proti houbám Ascomycetes, které způsobují měkkou hnilobu)
- F_b (proti houbám Basidiomycetes, které jsou dřevokaznými houbami)
- B (proti dřevozbarvujícím houbám)
- P (proti plísním)
- I_p (působí preventivně proti hmyzu)
- I_i (má intenzivní likvidační účinek proti hmyzu)
- (protipožární ochrana)
- K (inhibitor chemické koroze)
- D (proti povětrnostním vlivům)
- E (proti extrémním povětrnostním podmínkám)

Označení prostředků dle vlastností a podmínek použití [59]:

- *v* (látka je ze dřeva vyluhovatelná vodou - 1. a 2. třída ohrožení)
- *n* (látka je ze dřeva vodou nevyluhovatelná - 3. a 4. třída ohrožení)
- 1 (použitelné v interiéru, pod střechou)
- 2 (použitelné na dřevě bez styku se zemí, u kterého je možné přechodné zvlhnutí)
- 3 (použitelné na dřevě vystavenému vlivu povětrnosti, bez styku se zemí)
- 4 (použitelné na dřevě, které je ve styku se zemí a sladkou vodou)
- 5 (použitelné na dřevě, které je v trvalém a přímém styku se slanou vodou)
- *S* (povrchový způsob aplikace - nátěr, nástřik)
- *P* (hluboký způsob aplikace - tlaková impregnace, máčení)
- *SP* (oba způsoby aplikace)

Návrh správné chemické ochrany dřeva spočívá v tom, že se musí [22]:

- vyhodnotit zda je vybraný druh dřeviny vhodný do daného prostředí
- identifikovat očekávané ohrožení dřeva - hmyzem, houbami, povětrnostními vlivy

Kromě dobré účinnosti musí chemická ochrana splňovat i další požadavky, kterými jsou [22]:

- složení umožňující dobrou aplikaci a dobré pronikání do dřeva
- nesmí negativně ovlivňovat fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva
- ekologické parametry
- zdravotní a hygienická nezávadnost

Zdravotní a hygienická nezávadnost musí být zajištěna v průběhu provádění ochrany, v době provozu konstrukce a také v době likvidace konstrukce. V této oblasti máme pět tříd, které musí chemický prostředek splnit podle oblasti, kde má být použitý [60]:

- I. existuje možnost styku ošetřeného dřeva s potravinami a pitnou vodou - použití v obytných místnostech
- II. existuje možnost pravidelného styku člověka s ošetřeným dřevem - použití v obytných místnostech
- III. existuje možnost občasného styku člověka s ošetřeným dřevem - použití ve stavebních konstrukcích mimo obytné místnosti

IV. existuje výjimečná možnost styku člověka s ošetřeným dřevem - použití na venkovních konstrukcích

V. možnost styku člověka s ošetřeným dřevem je prakticky vyloučena - použití na železničních pražcích nebo na sloupech

Kvalita chemické ochrany závisí na [22][51]:

- účinnosti prostředku
- aplikačních vlastnostech
- struktuře dřeva
- vstupní vlhkosti dřeva
- stabilitě ochranného prostředku na dřevě

Z hlediska napadení biologickými dřevokaznými škůdci máme 5 tříd ohrožení dřeva, které můžeme vidět v tabulce č. 2 [61].

Tabulka č. 3

třída ohrožení	expozice dřeva	působící vlhkost	vyskytující se škůdci	označení minimální chemické ochrany
1	v interiéru a zakryté	max. 20%	hmyz	I _p , v
2	v interiéru	občas > 20%	hmyz a houby	I _p , F _b , v (B, P)
3	v exteriéru, chráněné i nechráněné	často > 20%	hmyz a houby	I _p , F _b , D, n (B, P)
4	v exteriéru ve styku se zemí nebo sladkou vodou	převážně či trvale > 20%	hmyz a houby	I _p , F _a , F _b , E, n (B, P)
5	ve styku s mořskou vodou nebo v mořské vodě	trvale > 20%	hmyz, houby, měkkýši	

Chemické ochranné prostředky se podle aplikačních charakteristik dělí na [22]:

- vodorozpustné - většinou anorganické
- vodní disperzní systémy - většinou organické látky
- rozpustné v organických rozpouštědlech - většinou organické látky

U chemické ochrany dřeva se podle hloubky průniku ochranného prostředku rozlišuje impregnace [61]:

- povrchová (průnik do 3 mm od povrchu dřeva)
- polohluboká (průnik 3 - 10 mm od povrchu dřeva)
- hluboká (průnik více než 10 mm od povrchu dřeva)

Požadavek na hloubku průniku závisí hlavně na třídě ohrožení, druhu použitého dřeva a způsobu aplikace prostředku.

Impregnaci je pak možno provádět těmito způsoby [61]:

- postřikem (není moc vhodný)
- nátěrem
- máčením
- ponořováním
- vakuo-tlakově
- vakuově
- tlakově-difusním způsobem

3.4.2.1 Historie chemické ochrany

- Člověk vykonával tzv. nepřímou chemickou ochranu již před 7 tisíci lety a to pomocí plamene. Při tomto karbonizačním procesu se tvoří dřevěné dehty, které mají fungicidní účinek.
- Před 3-5 tisíci lety začal člověk používat různé rostlinné oleje a vosky, které sice nemají fungicidní účinek, mají však schopnost odpuzovat vodu, a zabránit tak vytváření živného prostředí pro houby.
- Asi 400 let př. n. l. byly vyráběny první fungicidy na bázi kreosotových olejů. Používala se také dobytčí krev eventuálně smíchaná s vápnem případně i žlučí. Účinek těchto směsí byl pravděpodobně v tom, že uzavřely povrch dřeva, kterým pak mohla vnikat voda a vlhkost jen stěží.
- Přibližně v 16. století se začaly objevovat fungicidy na bázi rtuti.
- V 19. století, s rozvojem průmyslu, se rozšířil i sortiment fungicidů o sloučeniny mědi.
- Na počátku 20. století se objevovaly sloučeniny fluoru a poté i sloučeniny mědi, chromu a arzenu.
- Od poloviny. 20. století se ve větší míře používal pentachlórfenol, který se již nepoužívá, protože má negativní účinky na životní prostředí.

3.4.2.2 Biocidy

Mezi biocidy patří baktericidy, fungicidy a insekticidy. Kromě jejich účinnosti je důležitá také jejich stabilita, a to ve všech fázích použití:

- před aplikací
- při působení na dřevě
- při likvidaci dřeva

Biocidy povětšinou nemají účinek pouze na jednoho biotického činitele, můžeme je však rozdělovat podle chemického původu:

a) anorganické

Jsou to sloučeniny anorganických prvků, jako je měď, zinek, antimon, stříbro, kadmium, kobalt, nikl, rtuť, arzén, bór, fluor. Obvyklá je aplikace směsi těchto látek. Nejčastěji se aplikují ve formě vodního roztoku, díky čemuž se snáze vyplavují z ošetřeného dřeva a bez vhodné fixace se v exteriéru nepoužívají.

b) organické

Jsou méně odolné vůči UV záření a zvýšeným teplotám

- syntetizované - *kreosotové oleje* - vyrábějí se z uhlénoho dehtu
 - jsou karcinogenní, jejich použití je u nás velmi přísně řízeno předpisy [62]
 - jsou účinné jak proti houbám, tak proti hmyzu
- *organokovy* - jsou to sloučeniny, u kterých je atom kovu vázán přímo na atom uhlíku
 - jsou to například atomy rtuti, mědi, cínu
- *chlorované uhlovodíky* - naftalén, pentachlorfenol,...
- *deriváty močoviny* - mají široké spektrum účinnosti
- *sulfamidy* - ve vodě jsou nerozpustné a nevypřchávají
- *heterocykly* - kromě atomu uhlíku mají ve své struktuře také dusík, síru nebo kyslík
- jako rozpouštědlo těchto látek se používá benzín, toluen, etanol, aceton, přičemž je v dnešní době snaha o nahrazování těchto rozpouštědel ekologičtějšími variantami
- přírodní - jedná se o extrakty rostlin a živočichů
 - dřevní ocet - získává se zahříváním dřeva bez přístupu kyslíku
 - má slabé fungicidní a insekticidní účinky
 - pro svou malou účinnost se již nepoužívá
 - rostlinné oleje - získávají se z rostlin destilací
 - patří zde olej cedrový, tymiánový, levandulový, olivový, citrusový a další
 - rozpouštějí se v alkoholu
 - mnoho z nich částečně vypřchává
 - dnes se používají spíše jako vodoodpuzející emulze
 - některé z nich mají i významnější fungicidní účinky
 - nevýhodou je, že vytvářejí mastný povrch, na kterém se zachycují nečistoty
 - chitosan - získává se z krovek hmyzu, buněčných stěn hub a řas
 - je poměrně dobrým fungicidem
 - je vodou částečně vyluhovatelný, a proto je vhodnější spíše do interiérů

- dřevní extrakty - získávají se z třísek či pilin vysoce odolných dřevin
jako je teak, akát, sekvoj, tůje, africká třešeň apod.
- těmito extrakty se pak impregnují méně odolné druhy dřevin
- mohou mít účinky proti dřevokazným houbám i bakteriím

c) *bio-organické* - jsou to látky produkované jinými organismy přímo ve dřevě (například bakterie *Bacillus asteroidis*)

3.4.2.2.1 *Baktericidy*

Jsou účinné proti působení bakterií. Bakterie mají na poškození dřeva v porovnání například s dřevokaznými houbami jen malý vliv. Z tohoto důvodu se na dřevo používají prostředky, které nemají čistě jen baktericidní účinky.

K ekologickým prostředkům patří ty, které obsahují atomy stříbra - z těchto prostředků se postupně uvolňují ionty stříbra, které nejsou zdravotně závadné pro člověka.

K neekologickým pak patří přípravky s obsahem derivátů fenolu.

3.4.2.2.2 *Fungicidy*

Jsou to chemické látky, které potlačují, případně úplně zastavují aktivitu hub. Můžeme se setkat se dvěma druhy fungicidů:

- širokospektrální
- účinné proti určitému typu hniloby

3.4.2.2.3 *Insekticidy*

Insekticidy jsou prostředky proti hmyzu. Mohou působit buďto preventivně nebo likvidačně, a to v závislosti na jejich toxicitě a dávce. Preventivní insekticidy chrání dřevo před kladením vajíček a zabraňují jejich vývoji, případně zabraňují vývoji larev. Likvidační insekticidy usmrcují larvy a dospělé brouky [58].

Podle způsobu požití hmyzem dělíme insekticidy na:

- kontaktní (insekticid je přijímán přes povrch těla)
- požerkové (přes trávicí trakt)
- respirační (přes dýchací ústrojí)

Podle fyziologického účinku na hmyz je dělíme na:

- toxické
- respirační - blokují dýchací cesty
- protoplazmové - způsobují rozpad živých buněk
- nervové - blokují činnost centrální nervový systém
- netoxické
- hormonální - ovlivňují rozmnožování, vývin a chování hmyzu
- repelenty - odpuzují hmyz
- atraktanty - umí nalákat hmyz na jedno místo, kde se pak zničí
- pro dřevěné konstrukce se nevyužívají

3.4.2.2.4 *Nátěry proti povětrnosti*

Nátěry ochraňující dřevo před povětrnostními vlivy, mají tyto základní složky:

- stabilizátory extraktivních látek (zabraňují vyluhování látek vodou ze dřeva)
- stabilizátory ligninsacharidické matrice (brání degradačním účinkům UV záření a působení agresivních látek)
- stabilizátory tvarů dřeva (brání rozměrovým změnám dřeva a vzniku trhlin)

Podle obsahu pigmentu v nátěru rozeznáváme nátěry:

- bezbarvé (mají nízký podíl pigmentu)
- krycí (mají vysoký podíl pigmentu)

Krycí laky dobře pohlcují a odráží UV záření a jsou účinnější než bezbarvé. Obecně lze říci, že ochrana před UV zářením je vyšší, čím vyšší je podíl pigmentu. V případě bezbarvých nátěrů se musí jejich nižší podíl pigmentu kompenzovat přidáním nákladných UV absorbérů.^[63]

Z hlediska schopnosti vytvořit ochrannou vrstvu rozeznáváme [58][63]:

- *tenkovrstvé lazury*

Mají nízkou viskozitu. Vytváří tenký film, který kopíruje strukturu i kresbu dřeva. Bývají průhledné bezbarvé nebo průhledné s různými odstíny. Póry ve dřevě zcela nezaplňují a jsou tak propustné pro páru a v omezené míře i pro vodu pro náročné konstrukce (mosty, lávky) se nepoužívají, jelikož nezajišťují rozměrovou stabilitu dřeva. Nevýhodou je jejich kratší životnost, výhodou je pak jejich snadná obnova, kdy se nemusí před novým nátěrem odstraňovat.

- *tlustovrstvé lazury*

Vytváří znatelný film na povrchu dřeva. Póry zaplňují do té míry, že jimi těžko proniká voda a pronikání par je velmi omezeno. Bývají průhledné bezbarvé nebo průhledné s různými odstíny. Před obnovou tohoto nátěru, se musí zbytky starého nátěru zcela odstranit.

- *krycí nátěrové prostředky*

Vytvářejí na povrchu zřetelný film. Zcela zakrývají strukturu i kresbu dřeva. Jsou prakticky nepropustné pro vodu.

V dnešní době se používají nátěry:

- na bázi alkaloidů modifikovaných vysychavými oleji a přírodními živicemi
- na bázi polyakrylátů
- na bázi akrylátových kopolymerů
- kombinace alkydů a akrylátů

Všechny druhy nátěrů zpomalují (více či méně) přenos vlhkosti mezi dřevem a ovzduším. Vzniká tak menší napětí ve dřevě, díky tomu je omezen vznik trhlin. V exteriéru bývá životnost nátěrů pouze 1-2 roky, proto by se měly pravidelně obnovovat. Jejich krátká životnost je způsobena degradací působením UV zářením a povětrnosti. Životnost nátěrů však závisí také na dřevě a jeho vlastnostech, dále na kvalitě nátěrové hmoty a na typu aplikace. Obecně lze říci, že krycí nátěry bývají odolnější než bezbarvé, jelikož lépe odráží UV záření a tolik jej nepohlcují.

3.4.3 Modifikační ochrana dřeva

Modifikační ochrana dřeva spočívá ve změně jeho struktury. Je to metoda, která cíleně zlepšuje jeho vlastnosti. Jedná se o mechanickou, termickou či biologickou modifikaci, která zlepšuje biologickou či termickou odolnost. Dále pak může zvýšit hydrofobitu dřeva nebo jeho rozměrovou a tvarovou stálost. Tato metoda je dnes jen alternativní, ale v současnosti je stále více rozvíjena. [67]

3.5 Životnost dřevěných konstrukcí

Životnost dřevěných konstrukcí můžeme definovat z více hledisek:

- fyzická životnost - odráží skutečný stav dřeva
- morální životnost - hlavní důraz se klade především na estetickou stránku a plnění funkčních nároků
- ekonomická životnost - zohledňuje čas, v rámci kterého jsou náklady na údržbu a provoz ještě hospodárné

Fyzická životnost bývá často zkrácena z těchto důvodů:

- nedostatky při návrhu konstrukce
- nedostatky při realizaci
- chyby v průběhu užívání (zvýšené mechanické zatížení, nedostatečná údržba)
- nepředvídatelné události (požár, živelné pohromy)

3.6 Lepené lamelové dřevo

Nároky člověka na prostor se v čase zvyšovaly. Začaly se budovat továrny pro průmyslovou výrobu a také prostory pro společenská setkávání. Vzhledem k tomu, že rostlé dřevo je značně omezenou svou velikostí, začaly se objevovat snahy délkově i šířkově dřevo nadstavovat či skládat.

Na přelomu 18. a 19. století můžeme toto pozorovat například na obloukovém zastřešení hal, a to u soustav de l'Ormeho a Emyho. V de l'Ormeho soustavě byla jednotlivá prkna spojována pomocí hřebíků, svorníků nebo dubových kolíků. Emyho soustava pak využívala ocelových objímek spolu se svorníky. V těchto případech však nelze hovořit o prvku, který by se celým svým průřezem choval jako celistvý průřez ze dřeva. Všechny tyto pokusy však jistě přispěly k nápadu lepených nosníků.

3.6.1 Historie lepidel, spojování a lepení materiálů na bázi dřeva [31][38]

- doba kamenná (3 mil. - 4 000 př. n. l.) - smůla stromů - výroba věder, hrotů šípů, ...
- Babylon (4 000 př. n. l.) - lepidlo z živice (asfalt) - lepení očí ze slonoviny na sochy
- Tibet (3 000 př. n. l.) - dýhování
- Egypt (1 500 př. n. l.) - lepidla živočiš. původu - lepené dřevo v hrobkách a chrámech
- Římané (5. stol. n. l.) - dehet, včelí vosk - těsnění lodí
- živočišná lepidla - dýhování a intarzie dřeva
- Byzantská říše (9. stol. n. l.) - lepidla z ryb, jeleních rohů a sýru
- Holandsko (1690) - vznikají první plantáže na pěstování plodin pro výrobu klihu
- Anglie (1700) - vznikají první továrny pro výrobu klihu
- Amerika (1814) - byl vydán první patent na výrobu lepidla
- Anglie (1823) - byl vydán patent na kaučukové lepidlo
- Pobaltí (80. a 90. léta 19. stol.) - vznik prvních překližkár, používaly přírodní lepidla
- Anglie (1860) - hala King Edward College - tato stavba se považuje za nejstarší
- konstrukci z lepeného dřeva
- 1901 - objev formaldehydové pryskyřice
- 1930 - výroba překližek ze syntetických lepidel
- Německo (1930) - první komerčně vyrobená dřevotřísková deska
- 1931 - objev polychloroprenu
- 1937 - objev polyisobutylenu, butylkaučuku a polypropylenu

- 1 938 - objev epoxidu
- 1 940 - objev nenasyčených polyuretanů

3.6.2 Objev lepeného lamelového dřeva

Na počátku 20. století již technologie lepeného dřeva nebyla ničím zcela novým. Moderním průkopníkem však byl německý tesař, vynálezce a podnikatel Otto Hetzer z Výmaru, který získal první patent týkající se lepených lamelových nosníků. Tento patent získal v roce 1906. Jednalo se o patent na ohnuté lepené dřevo ze dvou nebo více lamel, slepované za vysokého tlaku. Otto Hetzer získal v období od roku 1891-1910 celkem pět patentů, většina z nich byla zaměřena na LLD. Tímto započal novou éru v dřevařském průmyslu.

Otto Hetzer se narodil v roce 1846 v Kleinobringenu poblíž Výmaru. Jako syn zemědělce se vyučil tesařem. Kolem roku 1871 založil pilu s přílehlým truhlářstvím ve Výmaru. Díky hospodářskému rozmachu se jeho firma rozrostla a v roce 1883 byla přejmenována na: *Weimarische Bau- und Parkettfußboden-Fabrik Otto Hetzer*. V roce 1891 byl Otto jmenován na velkovévodského vrchního tesaře. V roce 1901 se firma stala akciovou společností a dostala název: *Otto Hetzer Holzpflege und Holzbearbeitungs AG*. Tento název si pak uchovala až do roku 1927. Otto Hetzer umírá v roce 1911 a jeho odkaz přebírá jeho syn. [29]

V době, kdy firma začala produkovat lepené prvky, zažila velký rozmach, a to z několika důvodů [43]:

- prvky dosahovaly vysokého stupně prefabrikace, a tím se zkracovala i doba výstavby
- nosníky z LLD byly mnohem levnější než konstrukce ze železobetonu či oceli
- lepené nosníky měly a mají své místo i jako prvek interiéru, který není potřeba schovávat.

První lepené prvky byly lepeny pomocí kaseinového lepidla. Toto lepidlo se vyrábělo z tvarohu a vápna. Pro slepení 1 m² dřeva bylo potřeba 500 gramů tvarohu a 100 gramů vápna. Doba tvrzení byla až 24 hodin. Bohužel lepidlo nebylo odolné vůči vlhkosti, a proto se lepené nosníky mohly používat pouze do interiéru, například jako střešní nosné prvky. Již v této době však byly nosníky podrobovány zkouškám v laboratořích a vyznačovaly se vysokou pevností a odolností. Hetzerovy nosníky se skládaly ze stěn, které byly vytvářeny latěmi 60 x 40 milimetrů a přírub z několika prken o šířce 160 - 250 mm. [29] [42] [43]

Velkým pokrokem ve světě lepeného dřeva byl objev syntetických lepidel, v meziválečném období, které umožnily lepené prvky použít jak v interiéru, tak i v exteriéru. Dalším vylepšením pak byl vynález zubovitého spoje, ve 40. letech 20. století., který se ukázal jako dobré řešení pro lepené nosníky. Rozměry, pevnosti a jiné charakteristiky zubovitých spojů se dnes řídí normou [10]. [38] [44]

Nejvíce viditelný pokrok můžeme pozorovat hlavně v procesu výroby. Prvním způsobem opracování byla ruční tesařská práce, kde se příliš přesné zpracování nemohlo očekávat. Poté nastoupila mechanizace procesu obrábění dřeva, která vedla až k dnešním automatizovaným strojům s označením CNC. Tyto stroje jsou řízeny počítači a umožňují přesnou a rychlou výrobu. [38] [44]

Vývoj lepeného lamelového dřeva se stále posouvá, a proto se dnes můžeme setkat s různými inovacemi, jakou je například zakomponování vysokopevnostních vláken. Tloušťka těchto vláken je zhruba 2 milimetry a jsou do prvku zabudována již při lepení. Jejich přítomnost pak výrazně zvyšuje celkovou únosnost prvku i jeho ohybovou tuhost. [41]

V současnosti dosahuje lepené dřevo extrémních únosností v porovnání se svou hmotností. Staticky jsou více spolehlivé než dřevo rostlé. Vykazuje velkou rozměrovou a tvarovou stálostí umožňuje tím přesné lícování v konstrukci. Odolává vysoké vlhkosti vzduchu. Dnešní stroje, které lepené dřevo zpracovávají, umožňují mimořádnou tvarovou a konstrukční variabilitu. Přitom si stále zachovává všechny estetické vlastnosti jako dřevo rostlé. V ohledu požární odolnosti je dokonce spolehlivější než konstrukce ocelové.

3.6.3 Lepené lamelové dřevo v ČR

U nás bylo poprvé použito Hetzerovy technologie při výstavbě jídelny ve Škodových závodech v Plzni v roce 1917. V meziválečném období sloužila budova pro výrobu a opravy aut. Po druhé světové válce se z ní opět stala jídelna. V provozu byla do přelomu 60. a 70. let a poté už budova pouze chátrala. V roce 2012-2013 prošla budova rekonstrukcí, která bývalou jídelnu změnila v supermoderní planetárium. Nutno dodat, že část nosníků je stále původní.^[45]

V období před druhou světovou válkou až do 60. let minulého výstavba z lepeného dřeva ustala. Poté se začaly opět objevovat lepené nosníky. Ne však již s příčným profilem, který vynalezl Otto Hetzer, nýbrž s jednoduchým obdélníkovým profilem.^[43]

Výrobou velkých lepených nosníků se u nás zabývá jen málo firem. První výrobce lepených nosníků u nás jsou pravděpodobně České dřevařské závody, a.s. - závod TESKO. Tato společnost zahájila výrobu tehdy ještě v Československé republice v roce 1952. Dalšími výrobci na území ČR je společnost TAROS NOVA s.r.o. nebo LESS & TIMBER, a.s.

3.6.4 Lepený spoj

U lepených spojů se požaduje, aby jejich pevnost byla vyšší, než je pevnost dřeva. Prakticky to znamená, že při větším namáhání prvku, by se dřevo mělo oddělit mimo spoj. Při lepení nedochází k nežádoucím změnám ve dřevní hmotě. Lepení navíc dřevo neoslabuje, jako například tesařské a jiné spoje. Vzniklý prvek se pak může považovat a posuzovat jako celistvý dřevěný profil.

3.6.4.1 *Lepidla* [22][26]

Lepidla lze dělit podle:

a) původu

- živočišná - albuminová (z krve zvířat)
 - glutinová (z kůží a kostí zvířat)
 - kaseinová (z tvarohu)
- rostlinná - celulózová
 - škrobová
 - bílkovinná
- syntetická - resorcinol formaldehydová (RF)
 - fenol-resorcinol formaldehydová (PRF)
 - fenol-formaldehydová (PF)

- močovino-formaldehydová (UF)
- melamin-močovino formaldehydová (MUF)
- melamin-formaldehydová (MF)
- epoxidová
- polyuretanová (PUR)
- polyvinylacetátová lepidla (PVAC)

b) podle vodovzdornosti

- vysoko vodovzdorné - jsou odolné i vůči páře
- vodovzdorné - odolné vůči studené vodě
- nevodovzdorné

c) podle skupenství

- kapalné
- práškové

V minulosti se používaly pro lepené dřevo lepidla kaseinová, ta však nebyla odolná vůči vodě, a tak se mohla využívat pouze do interiérů. Dnes se použití lepidel pro nosné lepené prvky řídí jedinou normou [5]. V této normě jsou specifikované 2 typy lepidel, a to:

- typ I - jsou trvanlivá při neomezené venkovní expozici i o teplotách vyšších než 50°C a jsou trvanlivá při relativní vlhkosti vzduchu vyšší než 85% (při teplotě 20°C)
- typ II - jsou trvanlivá pro použití ve vytápěných a větraných budovách, ve venkovním prostředí chráněném proti povětrnosti, při krátkodobém působení povětrnosti a při teplotách do 50°C

Typ lepidla se volí dle tříd ohrožení. Pro náš případ lávek pro pěší a cyklisty, se předpokládá třída ohrožení 3, pro kterou se musí zvolit lepidlo typu I.

Nejpoužívanějším lepidlem českých výrobců jsou lepidla melamin-formaldehydová, melamin-močovino formaldehydová, popřípadě dvousložková polyuretanová.

3.6.4.2 Lepidla v současnosti používaná na lepené nosníky

Resorcinol formaldehydová a fenol-resorcinol formaldehydová

Mají tmavou barvu. Jsou velmi pevné a odolné i v exteriéru. Velkou výhodou je, že nedelaminují při požáru. [38][64]

Melamin-formaldehydové lepidlo

Jsou odolné vůči studené i horké vodě a omezeně jsou odolné vůči povětrnosti. Spoje jsou čiré jako sklo, tvrdé a křehké. Jelikož je melamin je organická látka a z 66% je tvořen dusíkem, který se uvolňuje při hoření, a tím jej i tlumí. Toto lepidlo tedy také působí jako retardér hoření. [38][39]

Melamin-močovino formaldehydové lepidlo

Melamin-formaldehydové lepidlo je často kvůli vysoké ceně melaminu modifikováno močovino-formaldehydovým lepidlem, vzniká tak melamin-močovino formaldehydové lepidlo. Používá se pro lepení za studena. Má světlou barvu. [40] [64]

Polyuretanové lepidlo

Toto dvousložkové lepidlo má vysokou pevnost a dobrou trvanlivost. Pouze některá jsou odolná vůči vodě, a proto se musí dobře zvážit jejich výběr. Méně odolávají povětrnosti. [38]

3.6.5 Výrobní proces [26]

Výroba lepeného lamelového dřeva, které je součástí nosné konstrukce, musí vyhovět požadavkům evropských norem. Přísné nároky jsou kladeny jak na vstupní surovinu, tak i na proces výroby. Vstupní surovinou pro výrobu lepeného dřeva je chemicky neošetřené dřevo, většinou smrkové. Na požadavky zákazníka je však možné vyrábět lepené prvky prakticky z každé dřeviny, pokud jsou pro ni vyvinutá potřebná lepidla. Obecně lze říci, že pro lepení jsou vhodnější jehličnaté dřeviny, jelikož je jejich dřevo měkčí a dá se tedy snáze lepit, než dřeviny listnaté.

Profil je lepen z lamel, které mají podélná vlákna rovnoběžná s podélnou osou prvku. Tloušťka lamel dle normy [10] je pro třídu provozu SC1 a SC2 6-45 mm a pro třídu provozu SC3 6-35 mm. U tuzemských výrobců převládá tloušťka lamely 40 mm. Délky těchto lamel se pohybují okolo 1 - 1,5 metru.

Prvním procesem v samotné výrobě lepených prvků je sušení. Lamely se vysouší na vlhkost 8-15%, horní hranice vytváří požadavky lepidel, ta totiž dokážou lepit dřevo jen do určité vlhkosti. Při lepení nesmí být rozdíl ve vlhkosti dvou sousedních lamel větší než 5%, toto omezení zabráňuje nebo alespoň výrazně omezuje vznik výsušných trhlin.

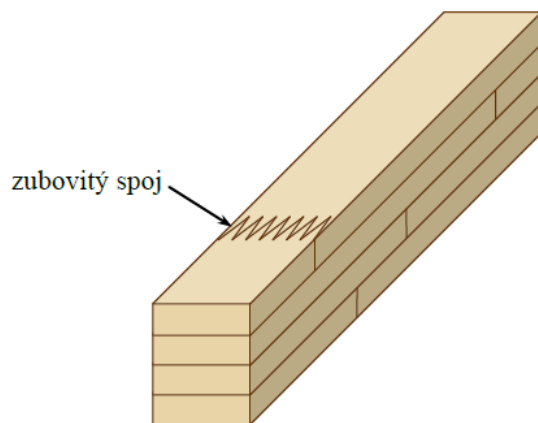
Lamely poté procházejí vizuální či strojní kontrolou. Vizuální třídění má logicky tu nevýhodu, že umí odhalit pouze viditelné vady. Je založeno na jednoduchých postupech, které lze uplatnit jak na pilách, tak i na stavebních. Nevýhodou je však jeho nízká přesnost. Samozřejmostí je, že i vizuální třídění podléhá normám [7], [8], [9],[16].

Strojní třídění je založeno na korelaci některé z měřitelných veličin (hustota, vlastní frekvence, elektrický odpor, tvrdost, a další). Jedná se o přesné nedestruktivní měření. Ke strojnímu třídění můžeme zařadit například stroje Cook-Bolinder, Computermatic, Raute Timgrader nebo Proof-Loading. Je ošetřeno normou [12]. [46] [47]

Dalšími nedestruktivními metodami je například prosvícení skenerem, použití gama záření nebo techniky založené na mikrovlnách. [41]

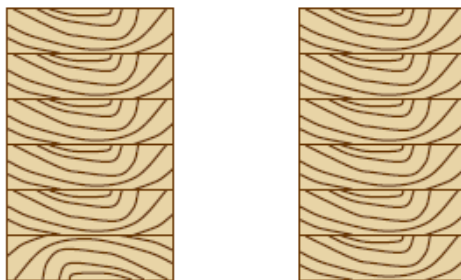
Kontrolami je zaručeno, že dřevo v nosném prvku nebude obsahovat vady a kazy, které mohou být například růstového původu. Patří zde suky, trhliny, nepravidelnosti struktury nebo nenormální zbarvení dřeva. [26]

Jako první se vyrábí tzv. nekonečná lamela, která je zhotovována pomocí zubovitého spoje délkovým nadstavováním lamel. Zubovitý spoj je vyráběn frézou a může mít různé délky. Na takto připravenou plochu je nanесeno lepidlo a lamely jsou k sobě pod tlakem připojeny. Pod tlakem setrvávají minimálně 2 sekundy. Velikost lisovacího tlaku závisí na délce ozubu a pohybuje se od 2 do 15 MPa^[10]. Platí, že čím menší délka ozubu, tím větší je lisovací tlak. Poté dojde k nařezání na požadovanou délku a dále lamela zůstává v klidu do vytvrzení lepidla ve spojkách. Tato doba se může lišit dle jednotlivých druhů lepidel. [26]



Obr. č. 24: Rozmístění zubovitých spojů na lepeném nosíku

Po vytvrzení lepidla se lamely přesouvají na hoblování, kde se jejich povrch připraví pro budoucí lepení. Lepidlo se nanáší pouze na horní stranu, na kterou je přikládána další lamela, a to až do požadované výšky profilu nosného prvku. Výška prvku je tak vždy násobkem tloušťky jedné lamely. Lepení probíhá tak, že průběh letokruhů má po celé výšce stejný směr kromě poslední vrchní lamely. Orientace lamely je tedy po vrchní i dolní straně prvku stejná, a to dřením směrem ven (viz obr. č. 25). Tímto postupem se eliminuje vnitřní napětí v lamelách. Toto pravidlo může být porušeno u třídy provozu SC1 a SC2. [10] [26]



Obr. č. 25: Směr dřevěných lamel v prvku

Po slepení lamel probíhá jejich lisování pod vysokým tlakem. S lisováním se musí začít dříve, než začne probíhat proces vytvrzování v lepidle. Doba vytvrzení se opět liší podle druhu lepidla a probíhá podle přepsaných podmínek, většinou při vlhkosti vzduchu 65% a teplotě 20°C. Po vytvrzení se odstraní lisovací tlak. [26]

Vzniklý prvek pak putuje na konečnou úpravu. Hoblováním se odstraní jak vytlačené přebytečné lepidlo, tak případné nerovnosti. Následně je prvek upravován dle požadavků zákazníka, mezi tyto úpravy patří například předvrtání otvorů pro ocelové spoje. [26]

3.6.6 Lepené nosníky

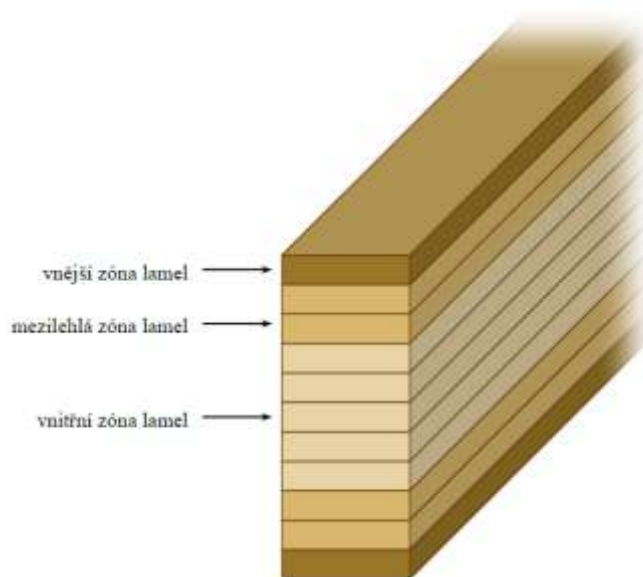
Můžeme se setkat s dvojím druhem lepených nosníků z hlediska pevnosti lamel, a to s:

a) homogenním průřezem

Všechny lamely v průřezu mají stejnou pevnost. Ve značení výrobku jej najdeme pod písmenem *h* (například GL 24*h*).

b) kombinovaným průřezem (viz obr. č 26)

Vnější lamely mají větší pevnost než lamely vnitřní. Mohou zde být umístěny také tzv. mezilehlé lamely, jejichž pevnost se nachází mezi pevností vnitřních lamel a vnějších lamel. Toto uspořádání vychází z předpokladu, že rozdělení napětí po výšce průřezu není konstantní, nýbrž je kolem neutrální osy nižší. Podíl vnějších, mezilehlých a vnitřních lamel se musí řídit normou [10]. Využití více tříd dřeva je hospodárnější, neplýtvá se kvalitnějším dřevem tam, kde není potřeba. Ve značení výrobku jej najdeme pod písmenem *c* (například GL 24*c*).



Obr. č. 26: Kombinovaný průřez lepeného lamelového nosníku

Teoreticky lze vytvořit prvek jakýchkoliv rozměrů. V praxi jsou však rozměry lepených nosníků omezeny výrobními a dopravními možnostmi. Z výrobního hlediska je omezena hlavně šířka vyráběného prvku, která plyne z rozměrů frézy. Tento rozměr se pohybuje kolem 200 -240 mm. Délkový rozměr je pak omezen možnostmi pozemních komunikací popřípadě železnice. Délka nákladního prostoru kamionu je zhruba 13,6 metrů. Další možností je zvláštní přeprava, která podléhá individuálnímu posouzení a schválení. U železničního nákladu lze převést prvek až 50 metrů dlouhý. Obecně lze říci, že je možno vyrobit a převést prvek o rozměrech 0,24x2,4x35 metrů. ^[48] ^[49]

4 Historie a současnost dřevěných mostů a lávek

Dřevo je pravděpodobně nejstarším materiálem, který člověk využíval pro mostní konstrukce. První přemostění vznikala nejspíše náhodně padlými stromy, které spojily dva břehy říčky, popřípadě pomohly překonat lesní roklinu. Překonaná vzdálenost však byla v této pravěké době značně omezena délkou stromů.

Již ve starověku lidé uměli dřevo opracovávat a spojovat. Zároveň pro ně bylo dřevo, spolu s kamenem, nejsnáze dostupným materiálem. K prvním zaznamenaným dřevěným mostům patří most přes řeku Tiberu v Římě, který byl postaven roku 625 př. n. l. Svému účelu tento most složil více než sto let a jeho pozůstatky byly dlouhá staletí uchovávány jako posvátné ostatky. Konstrukce byla pilotově založena, na pilotách spočívaly dřevěné trámy a na nich byla položena podlaha. [19]

Dalším starověkým mostem, o kterém je v historii zmínka, byl most přes řeku Eufrat v Babyloně, který byl zbudován asi roku 604 př. n. l. Most byl zbudován na kamenných pilířích, které byly od sebe vzdáleny asi 12 stop (3,66 m). Celková délka mostu byla 580 stop (176,8 m) a šířka pak 30 kroků (22,9 m). Nosnou konstrukci tvořily cedrové a cypřišové klády. Zajímavostí je, že mostiny byly každý večer sundány a každé ráno opět položeny, a to kvůli ochraně města v noci. [19][36]

Na přelomu let 286-287 byl zbudován most v Mohuči nad řekou Rýn. Dle pozůstatku byl dlouhý asi 850 metrů. Mohutné pilíře tohoto mostu byly zděné a měly rozměr 5x8m až 6x9 m. Na pilířích od sebe vzdálených asi 29 metrů ležela dřevěná nosná konstrukce. [19]

Ve středověku vznikaly dřevěné mosty také v Praze. Již v roce 795 byl zbudován jeden z prvních mostů, není však přesně známo, kdy byl tento most zbořen. Dalším dřevěný most byl postaven po rozboření kamenného Juditina mostu v roce 1342, tento však byl prozatímní. Dřevěný most byl také zkonstruován počátkem 14. století v Nymburce přes řeku Labe, tento byl dlouhý 180 metrů. [19]

V novověku bylo stavěno mnoho dřevěných mostů. Můžeme zmínit například most, který byl postaven v roce 1755 přes řeku Vltavu ve Veltrusech. Stával na kamenných pilířích, neměly však dlouhého trvání, jelikož se zřítíl již roku 1783. Zajímavostí je dřevěný most

v Berouně zbudovaný roku 1798. Tento most byl každoročně před zimou snesen a znovu postaven až na jaře. [19]

Obdivuhodnou stavbou tehdejší doby byl most o rozpětí 119 metrů, zbudovaný roku 1778 ve Švýcarsku přes řeku Limmat. Neměl však dlouhého trvání, neboť jej roku 1799 spálili Francouzi. [19]

Na přelomu 19. a 20. století měla Praha hned několik velkých dřevěných mostů. Byl to například zatímní most, který si vyžádala stavba trvalého mostu Legií u Národního divadla. Tento most byl uveden do provozu roku 1898. [19]

4.1 Dochované historické dřevěné lávky a mosty u nás

Na území České republiky se dodnes zachovalo několik dřevěných mostů a lávek. Jedná se o kryté konstrukce, které se pravděpodobně dochovaly právě díky zastřešení. Tyto mosty potkávaly různé ničující události, jako jsou požáry, povodně, bombardování během válek či prosté zanedbání péče o ně. Všechny tyto události však lépe či hůře překonaly. Uvedené příklady dokazují, že i konstrukce ze dřeva mohou mít dlouhou životnost, pokud se jim bude věnovat náležitá péče.



Obr. č. 27: Výskyt historických dřevěných lávek a mostů v ČR

Most v Černvíru (řeka Svratka, okres Brno-venkov)

Jedná se o nejstarší dochovaný most na Moravě. Pochází z roku 1718 a je chráněnou technickou památkou České republiky. Jeho délka je 32 metrů a šířka 2,6 metrů. Je rozdělen kamenným pilířem na dvě nestejně dlouhá pole. Každé pole je nesené 7 jedlovými trámy. Svislá konstrukce je kombinací věšadlového a příhradového systému.

Most byl již několikrát rekonstruován, nyní je ve velmi dobrém technickém stavu, doposud slouží chodcům a cyklistům. [18] [68]



Obr. č. 28: Dřevěný most v Černvíru

Most v obci Kočí-Topol (okres Chrudim)

Jedná se o 18 metrů dlouhý a 3 metry široký arkádový most vedoucí do zvonice gotického kostela sv. Bartoloměje. Tento most pochází z roku 1721 a byl zbudován na místě staršího mostu, jehož historie sahala do roku 1499. Most stojí nad příkopem, dnes již vysušeným, v dřívějších dobách zde byly bažiny. Jedná se o technickou památku ve velmi dobrém stavu.[69]



Obr. č. 29: Dřevěný most v obci Kočí-Topol

Lávka Rechle u Lenory (řeka Teplá Vltava, okres Prachatice)

Tato památka pochází z roku 1870. Používala se k zadržování a následnému vypouštění dřeva, které se plavilo do papíren. Most plnil svou funkci až do poloviny 50. let 20. století. Lávka má délku 25 metrů, je uložena na třech mohutných kamenných pilířích. Podlaha je široká 1,8 metrů a je nesena několika mohutnými trámy.

Dnes je Rechle cennou a ojedinělou technickou památkou. Poslední rekonstrukce proběhla v roce 2015, nyní se tedy lávka nachází ve výborném technickém stavu. [18] [70]



Obr. č. 30: Lávka Rechle u Lenory

Lávka ve Švařci (řeka Svratka, okres Žďár nad Sázavou)

Lávka o délce 22,6 metrů a šířce 2 metry byla zbudována roku 1873 je chráněnou technickou památkou lidové architektury. Výška této lávky je 3 metry. Je zde použita věšadlová konstrukce, která je podporována dvěma nábrežními pilíři a nesena dvěma zdvojenými trámy o síle téměř půl metru. K lávce vede na každé straně 11 schodů. Lávka je přístupná. [18]



Obr. č. 31: Lávka ve Švařci

Lávka v Prudké (řeka Svratka, okres Brno-venkov)

Tato lávka byla zbudována v roce 1899 pro dělníky z místní papírny. V současnosti přes ni vede turistická trasa. Lávka se však v současnosti nachází ve velmi špatném technickém stavu. Je víc než jasné, že pokud se v nejbližší době nevyřeší její nynější vlastnická práva a nebude zrekonstruována, hrozí jí s největší pravděpodobností brzký zánik.[71]



Obr. č. 32: Lávka v Prudké

Most Bystrá nad Jizerou (řeka Jizera, okres Semily)

Tento most je dlouhý 24 metrů a široký 3 metry a 5 metrů vysoký. Byl postaven v roce 1922 místním jako spojnice místní komunikace a mlýna. Konstrukce je tvořena trojúhelníkovými a lichoběžníkovými věšadly. Boční zavětrování je provedeno pomocí ondřejských křížů, které jsou umístěny rovněž pod mostovkou. Doposud slouží k silničnímu provozu, který je ale omezen na nosnost 1,5 tuny. [18] [72]



Obr. č. 33: Most v Bystré nad Jizerou

Most v Pekle (řeka Zdobnice, okres Rychnov nad Kněžnou)

Most pocházející z roku 1840 je široký 6,2 metrů a 17,2 metrů dlouhý. Nosnou konstrukcí tvořily lichoběžníková vřšadla, která byla nahrazena válcovanými ocelovými nosníky. Krajiní pole jsou zavětrována ocelovými táhly. Na tomto mostě je atypicky řešeno bednění, které je provedeno v podélném směru. Raritou je také žaluziové okno. Most byl několikrát opravován a v současnosti stále slouží svému účelu. [18] [37]



Obr. č. 34: Most v Pekle

Most Olga a tzv. Francouzský most ve Verdeku (řeka Labe, okres Trutnov)

Most Olga je dlouhý 25 metrů a široký 3 metry. Francouzský most je dlouhý 20 metrů a široký rovněž 3 metry. Oba mosty jsou opatřeny vřšadlovou konstrukcí, později zesílenou vzpěradly. Dnes jsou oba mosty restaurovány a slouží jen místním obyvatelům nebo příležitostným návštěvám. [18]

4.2 Novodobá historie využívání dřeva u nás

Rozvoj průmyslu po první světové válce a také nedostatek bytů, vedl k rozvoji využití dřeva a materiálů na bázi dřeva v celém stavebnictví. Po druhé světové válce však přišel útlum využití dřeva u nás, jeho příčinou bylo prohlášení dřeva za strategickou surovinu, se kterou je v tuzemsku potřeba šetřit. Došlo tak k jeho degradaci na pouhý pomocný materiál, zpracování dřeva prakticky vymizelo z učebních plánů odborných a vysokých škol a byl také zastaven veškerý jeho výzkum. Přestaly se u nás vydávat knihy s touto tematikou. Přerušen byl také dovoz odborných časopisů a publikací ze zahraničí. Byl tak v podstatě zastaven přirozený vývoj využívání dřeva u nás, protože několik generací inženýrů a techniků se ve školách nenaučilo navrhovat ani realizovat dřevěné konstrukce. Někdy v této se veřejnosti začaly podsouvat názory, že stavby ze dřeva jsou málo kvalitní a mají menší životnost. To se změnilo až s příchodem revoluce. Následky tohoto útlumu však můžeme v České republice pozorovat dodnes, kdy se ve využívání dřeva pro stavební účely pohybujeme na jedné z posledních příček v Evropě. [32] [65]

4.3 Současnost využívání dřeva u nás

S přelomem tisíciletí se do popředí dostaly otázky životního prostředí spolu se snahami řešit problém se ztenčující se zásobou vyčerpatelných zdrojů surovin. V otázce životního prostředí je jedním z klíčových bodů snížení obsahu oxidu uhličitého, jako skleníkového plynu, v ovzduší. V této otázce je jednou z cest k řešení lepší a hojnější využití lesa. Stromy v lesích i mimo něj oxid uhličitý pohlcují ve velkém množství. Stromy jsou také zdrojem obnovitelného materiálu. Dalším důležitým bodem v otázce životního prostředí je celý životní cyklus stavebního materiálu, a to od jeho těžby, přes zpracování až po jeho likvidaci. Dřevařský průmysl způsobuje relativně malou ekologickou stopu, která je nadále ještě snižována modernizací výrobních procesů. Dá se říci, že ekologické myšlení napomohlo tomu, že využívání dřeva pro stavební účely v naší republice zažívá vzestup, i když se může zdát pomalý. [33] [34] [22]

Jedním ze současných trendů ve výstavbě dřevěných konstrukcí je výstavba lávek pro pěší a cyklisty. Tyto konstrukce se většinou umísťují v prostředí, které si přírodní materiál jako je dřevo žádá. Žádný jiný materiál do okolí nezapadá tak, jako dřevo.

V současnosti se ve velkém provádí výstavba lávek z lepeného lamelového dřeva. Existují samozřejmě i výjimky, u kterých projektant navrhl použití hranolů z rostlého dřeva popřípadě i kulatiny. Těchto lávek ve veřejném prostoru není mnoho, ve většině případů jsou navrhovány spíše pro menší rozpětí. Příklady takovýchto konstrukcí můžeme vidět na obrázcích č. 35 - č. 38.



Obr. č. 35: Lávka Stachelberg, Trutnov



Obr. č. 36: Pašerácká lávka, Kunvald



Obr. č. 37: Lávka Velká Hráva



Obr. č. 38: Lávka v zámeckém parku ve Vlašimi

Dnes se používá několik základních statických schémat pro návrh dřevěných lávek:

a) prostý nosník

Dá se říci, že tento typ nosníků je jedním z nejpoužívanějších. Výhodou je jejich jednoduchý statický výpočet a výrobní nenáročnost (viz obr. č. 39 a 40).



Obr. č. 39: Lávka v Pasohlávkách



Obr. č. 40: Lávka v Nedvědicích

b) prostý nosník s nadvýšením

V podstatě se jedná o shodnou konstrukci uvedenou výše, podstatou však je použití nadvýšení, které nám příznivě ovlivňuje mezní stav použitelnosti. Je to také velmi často používaná varianta (viz. obr. č. 41 a 42).



Obr. č. 41: Lávka v Jetřichovicích



Obr. č. 42: Lávka v Nezamyslicích

c) obloukové lávky

Tento typ lávek sice není dnes tak hojně používaným, avšak lze říci, že již není žádnou výjimkou. (viz. obr. č. 43 a 44).



Obr. č. 43. Lávka v Brně- Obřanech



Obr. č. 44: Lávka v Dolním Němčí

d) zavěšené a visuté lávky

V České republice jsou doposud spíše raritami lávky zavěšené (obr. č. 45) nebo visuté (obr. č. 46). Je to pravděpodobně ovlivněno tím, že není tolik příležitostí k využití takovýchto statických schémat, a to z několika důvodů. Ve většině případů se takovéto rozpětí přemostují pomocí ocelových či betonových lávek, protože se i v dnešní době vyskytují názory ze strany investorů, že dřevo nemá tak dlouhou životnost jako ocel nebo beton, a proto se bojí do takovýchto projektů vložit nemalou částku. Dále je méně míst, kde je nezbytné přemostovat překážku tímto způsobem. Je například naprostý nesmysl použít zavěšenou či visutou lávku na rozpětí 15 metrů.



Obr. č. 45: Zavěšená lávka Samota



Obr. č. 10: Visutá lávka v Semilech

Podobně jako tomu bylo u příkladů visuté a zavěšené lávky, můžeme najít i další atypické projekty lávek. Jsou to například lávky v Novém Boru nebo Rádle u Jablonce.



Obr. č. 11: Lávka v Novém Boru



Obr. č. 12: Lávka v Rádle u Jablonce

Běžně v našem okolí vidáme lávky v přímé, existují ale opět výjimky, a to lávky zakřivené (obr. č. 49 a č. 50).



Obr. č. 49: Lávka v Hlubočkách



Obr. č. 50: Lávka u hradu Veveří v Brně

Povětšinou se geometrie lávky projektuje jako kolmá. V některých případech však tento způsob geometrie není možno použít, nebo jej je možno použít, ale projektant chce svůj návrh esteticky ozvláštnit, vznikají tak mosty šikmé (obr. č. 51 a č. 52).



Obr. č. 51: Lávka ve Velké Bystřici



Obr. č. 52: Lávka v Bohuňovicích

Ve většině případů, se dnes lávky navrhují jako nekryté, což je celkem škoda vzhledem k tomu, že krytí významně zvyšuje životnost dřevěných konstrukcí, to už věděli již naši předkové. I dnes se však najdou výjimky (viz. obr. č. 53 a č. 54). Lze konstatovat, že je to velmi rozumný krok ze strany investorů. Je však samozřejmé, že zakrytí lávek, není z estetického hlediska vždy nejvhodnějším řešením.



Obr. č. 53: Lávka ve Špindlerově Mlýně



Obr. č. 54: Lávka ve Velkých Karlovicích

Je známo, že doba výstavby dřevěných lávek je velmi krátká. V případech, že to rozměry lávky umožňují, se lávka na místo určení převáží již v kompletní podobě (obr. č. 55) s případným přimontováním zábradlí a jiných malých částí.

Další možností, je dovoz konstrukce po několika dílech, kdy pak následně dojde k jejich smontování (obr. č. 56 - č. 58).

Poslední možností, která není příliš častá, je montáž konstrukce po jednotlivých částech mostu jako jsou hlavní nosníky, příčníky, podélníky a mostiny (obr. č. 59 - č. 61).



Obr. č. 55: Výstavba lávky v Haňovicích



Obr. č. 56, č. 57., č. 58: Výstavba lávky Samota - po dílcích



Obr. č. 59, č. 60, č. 61: Výstavba lávky u Kunratického hradu - po jednotlivých částech

5 Životnost dřevěných lávek

Životnost dřevěných lávek ovlivňuje velké množství faktorů:

- druh, kvalita a přirozená trvanlivost dřeva
- druh, kvalita a způsob aplikace lepidla u lamelového dřeva
- celkové konstrukční řešení
- konstrukční řešení a kvalita provedení spojů
- typ spojovacích prostředků a jejich kvalita, včetně povrchové úpravy
- druh, kvalita a hloubka chemické ochrany
- způsob ochrany proti vlhkosti, vodě, sněhu a ledu (hydroizolace, zastřešení)
- klimatické podmínky v daném místě
- mechanické poškození během provozu
- pravidelná kontrola
- pravidelná údržba (odstranění nečistot, obnova nátěrů)
- průzkum případných poškození a jejich odstraňování

Životnost správně navrhnutých, realizovaných a udržovaných dřevěných lávek bývá 40-200 let. Pokud však projektant zvolí špatný druh dřeva a navrhne nevhodné konstrukční řešení, dále pak není provedena správná chemická ochrana a lávka je navíc zanedbávána z hlediska údržby, její životnost se výrazně zkracuje. V takovýchto případech její životnost nedosahuje ani 5 či 10 let.

5.1 Důsledky špatného konstrukčního návrhu

Mezi poruchy zapříčiněné špatným konstrukčním řešením je zatékání vody z důvodu špatně provedené nebo chybějící izolace. Chybějící izolace pak umožňuje zadržování vody na dřevě po delší dobu, což zvyšuje vlhkost, která dále může vést k výskytu biologických škůdců.

U dřevěných lávek je to například chybějící oplechování nebo chybějící krycí lamely na hlavních nosnících, dále pak chybějící hydroizolace na podélnících a příčnících umístěných pod mostinami.

Dalším případem špatného konstrukčního návrhu může být navržení uložení mostin blízko u sebe, čímž se nečistoty z provozu lávek (listí, zemina, písek a podobně) mezi

mostnicemi zadržují. Všechny tyto nečistoty opět zadržují vlhkost a zvyšují riziko poškození lávek.

Nevhodným konstrukčním řešením může být také uložení lávky způsobem, kdy dochází ke styku konstrukce zeminou. Tento jev je velice nebezpečný, protože zemina může způsobovat mnoho problémů (vlhkost, snazší přístup mikroorganismů, atd.)

5.2 Důsledky nedostatečné údržby

Alespoň jednou ročně by se měla provádět údržba lávky z hlediska odstranění nečistot. Pokud se tato údržba neprovádí, může docházet k hromadění těchto nečistot a následně ke zvyšování vlhkosti.

Špatná údržba lávek se projevuje také v neodstraňování náletových rostlin v oblasti například kolem uložení lávek. Rostliny mohou vytvářet více vlhkosti, než která by byla nevyhnutelná, dále mohou být hostitelem jiných škůdců a zbytečně tak zvětšovat riziko.

Další poruchou, kterou zapříčiňuje špatná údržba, je delaminace (praskání) dřeva. Nejenže dřevo esteticky poškozuje, ale vytváří také snazší přístup vodě a škůdcům. Delaminace vzniká nadměrných vysycháním dřeva, proto se s ní setkáváme hlavně na slunečné straně nosníků. Delaminaci se lze účinně bránit vhodně zvoleným a obnovovaným nátěrem.

Mechanicky poškozené či zvětralé nátěry je dobré co nejdříve opravit nebo obnovit, protože přes poškozenou vrstvu snadno vniká do dřeva vlhkost. Dřevo se pak v těchto místech výrazněji barevně mění a jeho povrch se erozně odbourává.

Špatné konstrukční řešení a zanedbaná údržba může být velice nebezpečná, jelikož může dojít k vážným poškozením konstrukcí nebo dokonce k jejich zřícení.

5.3 Stav vybraných dřevěných lávek

Most v Hustěnovicích u Uherského hradiště.

V roce 2008 byl postaven most v Hustěnovicích, který překonává Baťův kanál. Vlivem absence údržby, konkrétně neobnovováním ochranného nátěru, vznikla na tomto mostě delaminace na hlavních nosnících vlivem UV záření. Působením UV záření došlo již také ke změně barvy dřeva, což znamená, že vrchní vrstva dřeva již podléhá erozi (viz obr. č. 64). O zanedbané údržbě také svědčí znečištění prostor mezi mostinami, ze kterého vyrůstá tráva (viz obr. č. 67). Nebezpečnější je však výskyt dřevokazné houby trámovky plotní na zábradlí mostu (viz obr. č. 66). K jejímu výskytu přispěl zcela chybějící nátěr na zábradlí. Je zde riziko jejího rozšíření.

Dále zde můžeme pozorovat poškození na rohu hlavního nosníku, jehož vznik není jasný, ale lze předpokládat, že toto poškození je mechanického původu (viz obr. č. 65). Měla by se proto provést oprava, jelikož toto poškození může být místem pro pronikání vlhkosti do dřeva a spolu s ní i pro různé biotické škůdce.



Obr. č. 62, č. 63: Most v Hustěnovicích - stav po dokončení výstavby



Obr. č. 64: Absence ochranného nátěru



Obr. č. 65: Poničený hlavní nosník



Obr. č. 66: Výskyt dřevokazné houby



Obr. č. 67: Znečištění prostoru mezi mostinami

Lávka ve Strunkovicích nad Blanicí

Na této lávce bylo pozorováno hned několik závažných poruch. Nejzávažnější poruchou bylo napadení nosné konstrukce dřevokaznou houbou trávovkou plotní (viz obr. č. 69). Příčinou výskytu této houby byla zanedbaná údržba, konkrétně neobnovení ochranného nátěru. Absence nátěru umožnila poškození UV zářením, které způsobilo delaminaci, tedy popraskání hlavních nosných prvků, ale také dřevěného zábradlí.

Dalším závažný problém byl zapříčiněn již samotným konstrukčním návrhem. Tento návrh byl chybný v tom, že kraje hlavních nosníků byly uloženy v kontaktu se zemí, což způsobilo vlhnutí konstrukce. Byl dokonce pozorován částečný rozpad těchto okrajů (viz obr. č. 70).

Tato lávka je příkladem toho, že nesprávný konstrukční návrh a zanedbaná údržba mohou způsobit fatální škody na dřevěných konstrukcích a zkrátit tak jejich životnost. Tato lávka byla uvedena do provozu v roce 1999 a již v roce 2013 musela být odstraněna pro svůj havarijní stav.



Obr. č. 68: Poničená lávka ve Strunkovicích



Obr. č. 69: Výskyt dřevokazné houby



Obr. č. 70: Rozpadající se hlavní nosník v kontaktu se zemí

Lávka na cyklostezce Salaš - Velehrad

V roce 2008 byla uvedena do provozu lávka na cyklostezce Salaš - Velehrad. Tato konstrukce je příkladem nepříliš kvalitně provedené realizace. Můžeme zde pozorovat neodborný zásah do hlavní nosné konstrukce, kdy došlo k zařiznutí hlavních nosníků (viz obr. č. 72).

Dále je zde poškozené oplechování hlavních nosníků, což způsobuje vznik vlhkých stop na konstrukci (viz obr. č. 71), které mohou do budoucna představovat problém v podobě výskytu dřevokazných hub nebo brouků. Dále se touto vlhkostí snižuje estetika lávky.

Dalším problémem je nedostatečná údržba lávky i jejího okolí. Na konstrukci byl zaznamenán počátek degradace dřevní hmoty vlivem UV záření, které k ní proniká přes poškozený ochranný nátěr. Dále se pak na konstrukci vyskytují náletové rostliny (viz obr. č. 74), které by mohly časem poškodit strukturu dřeva.

Celkové poškození lávky je v počátečním stádiu, kdy na její opravu bude potřeba ještě relativně malých nákladů.



Obr. č. 71: Původní stav lávky



Obr. č. 72: Zatékání vody na hlavních nosnících a zvětralý ochranný nátěr



Obr. č. 73: Neodborný zásah do nosné konstrukce



Obr. č. 74: Vyrůstající plevel na konstrukci

Most v Českém Krumlově

Jedná se o most, jehož nosná konstrukce je z ocelových nosníků s dřevěnou mostovkou. Nátěr dřevěné části je již v počáteční fázi zvětrání. Použité trámy jsou z rostlého dřeva, můžeme na nich pozorovat zjevné trhliny. Trhliny jsou orientované hlavně na slunečných stranách, usazují se v nich nečistoty (viz obr. č. 76 a č. 77) a ve značné míře z nich vyrůstají dřevokazné houby (viz obr. č. 78 a č. 79). Příčinou přítomnosti dřevokazných hub může být jak zvětralý nátěr, tak i nedostatečná či nevhodná chemická ochrana mostu. Je pravděpodobné, že i použitá dřevina je méně odolná vůči napadení houbami.



Obr. č. 75: Kombinovaný ocelovo-dřevěný most v Českém Krumlově



Obr. č. 76: Trhliny na konstrukci



Obr. č. 77: Nečistoty v trhlínách



Obr. č. 78: Výskyt dřevokazné houby



Obr. č. 79: Výskyt dřevokazné houby

Lávka u hrádku Aichelburg na Trutnovsku

Absentující údržba lávky a pravděpodobně i špatně zvolená chemická ochrana a poškozený nátěr vedl k havárii lávky u hrádku Aichelburg na Trutnovsku v roce 2010, při které se zranilo 7 lidí. Příčinou této havárie byl výskyt dřevokazné houby trámovky plotní, jejíž růst postupuje směrem od jádra na vnější povrch dřeva, a tak nebyla odhalena až do chvíle, kdy lávka havarovala (obr. č. 81).



Obr. č. 80: Lávka před zřícením



Obr. č. 81: Lávka po havárii

6 Izolační systém Polyurea GME

Jak bylo zmíněno v předchozích kapitolách, významnou roli v ochraně dřeva hraje izolace a rychlost odvodu vody. Na všech konstrukcích a stavbách, je důležité, aby se styk vody s konstrukcí zkrátil na minimum. U dřevěných konstrukcí by to měla být jedna z priorit. U dřevěných lávek je již dlouhá léta standardem využívání oplechování nebo hydroizolačních asfaltových pásů či lepenek. Vývoj jde však kupředu, a proto je nutné hledat nové cesty i v tomto odvětví.

Novým materiálem, který je možno použít pro účel izolace konstrukcí je nástřikový systém Polyurea GME. Tento materiál lze aplikovat na různé druhy povrchů - beton, ocel, dřevo, asfaltová lepenka a další.

Polyurea je certifikovaným materiálem. Certifikát však obsahuje kvalitativní parametry obecné a dále jen parametry týkající se přilnavosti k betonu a oceli. V laboratořích VŠB-TUO bylo nutno odzkoušet materiál z hlediska chování ve spojení se dřevem.

Systém Polyurea GME se skládá ze dvou složek - složky A (směs aminů) a složky B (izokyanát). Tyto složky se mísí v poměru 1:1. Přesné chemické složení nelze uvést, jelikož se jedná o tajnou recepturu, která je vlastnictvím firmy GME s.r.o.

Nástřik se provádí pomocí specializovaných vysokotlakých čerpadel pod tlakem 180 barů s předeříváním obou složek systému na 80°C. Reakce a vytvrzení systému nastává po 15-25 sekundách. Finální mechanické parametry má nástřik zhruba 2 hodiny po provedení. Pro dosažení minimální tloušťky 1,5 milimetrů je nutné provést dva nástřiky. Maximální tloušťka nástřiku není nijak omezena a může být proveden v několika barvách.

Tento materiál je odolný vůči UV, což je pro použití u lávek velkou výhodou. Dalším pozitivem je to, že vytvrzený nástřik není škodlivý pro životní prostředí. ^[30] ^[52]

6.1 Experimentální měření izolačního systému Polyurea GME

V laboratořích VŠB-TUO byly provedeny tři experimentální měření. Všechna byla zaměřena na chování materiálu ve styku se dřevem a také na způsob jeho porušování při namáhání na dřevě.

První z měření bylo zaměřeno na vlhkost, která by se případně mohla zdržovat pod nástřikem, což by v případě dřeva mělo negativní vliv na jeho strukturu a následně na únosnost. Další měření bylo zaměřeno na přilnavost materiálu ke dřevu. Posledním měřením pak byla zkouška materiálu v tahu, při které se zjišťovala průtažnost materiálu. Poslední dvě zmíněné zkoušky mají ověřit, zde izolace nebude praskat nebo se případně odlupovat od nosného prvku při jeho namáhání.

Přístroje použité pro jednotlivé zkoušky

Vlhkostní zkouška

Zvýšení vlhkosti vzorku bylo provedeno ve vlhkostní skříni BS VLH-203. Pro měření vlhkosti dřeva byl použitý tester vlhkosti dřeva ELBEZ WHT-650, který pracuje na principu měření elektrického odporu mezi elektrodami. Rozsah měření přístroje je 6-50%.

Odrhová zkouška

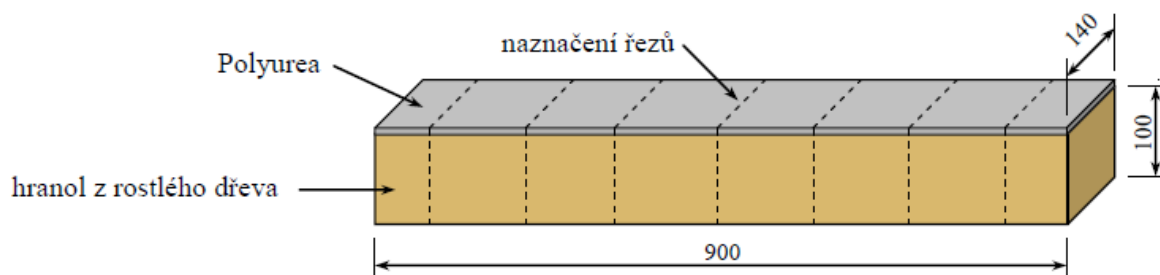
Odrhová zkouška byla provedena pomocí odtrhovacího stroje COMMING OP-4. Trhací terče byly přilepeny ke vzorkům pomocí lepidla SIKADUR 31 CF RAPID. Terče měly kruhový tvar o průměr 50 mm.

Tahová zkouška

Tahová zkouška byla provedena pomocí trhacího zařízení s označením EU-40. Deformace byla zaznamenávána pomocí potenciometrického snímače dráhy s neodpruženou měřicí tyčí v rozsahu 50 mm s označením AHLBORN FWA050T. Příprava zmražených vzorků probíhala v mrazícím zařízení KD-20 a příprava vzorků se zvýšenými teplotami probíhala v sušárně MEMMERT UF-750.

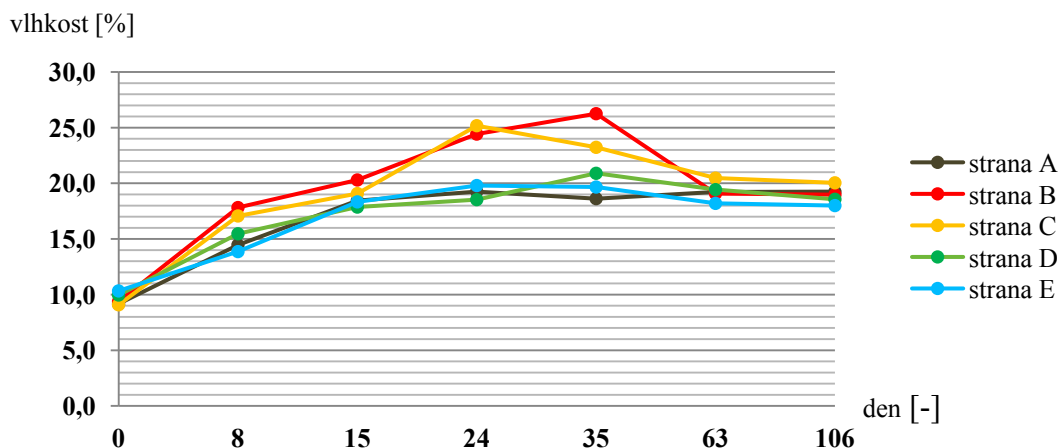
6.1.1 Vlhkost dřeva pod nástřikem

Pro ověření, zda se ve dřevě pod izolačním nástřikem nezadržuje vlhkost, případně zda se vlhkost nevnáší během zhotovení nástřiku hmoty. Pro zkoušku bylo použito jedno zkušební těleso z rostlého dřeva - označení V_1 . Velikost tohoto zkušebního tělesa byla 140x100x900 mm (viz obr. č. 82). Plocha nástřiku měla rozměr 140x900 mm. Zkušební vzorek byl vložen do vlhkostní skříně na 106 dní. Ve vlhkostní skříně byla udržována stálá teplota 20°C a stálá vlhkost 90%.



Obr. č. 82: Vzorek V_1

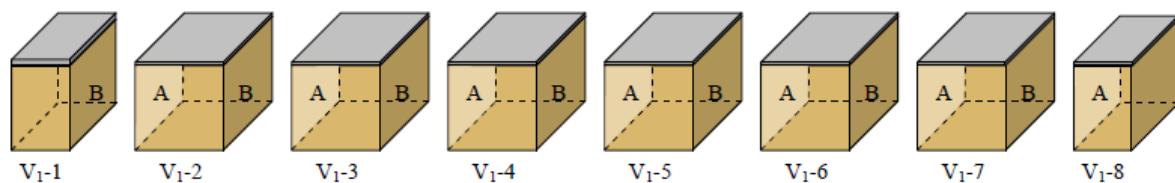
Během doby, kdy byl vzorek uložen ve vlhkostní skříně, bylo provedeno pět průběžných měření vlhkosti, a to po stranách vzorku (strana A-E) následně byla vypočítána průměrná vlhkost každé strany vzorku a zaznamenána do grafu č. 4.



Graf č. 4

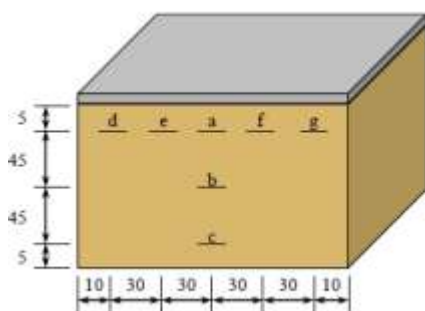
Konečná vlhkost povrchu vzorku byla tedy průměrně 18,9%.

Po 106-ti dnech bylo, kromě měření vlhkosti na stranách vzorku, provedeno rozřezání vzorku na osm částí (V_1-1 - V_1-8 , viz obr. č. 83) a dále byly změřeny vlhkosti na těchto řezech.



Obr. č. 83: Řezy vzorku V_1

Na každém řezu bylo provedeno měření na sedmi místech (viz obr. č. 84), naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 4.

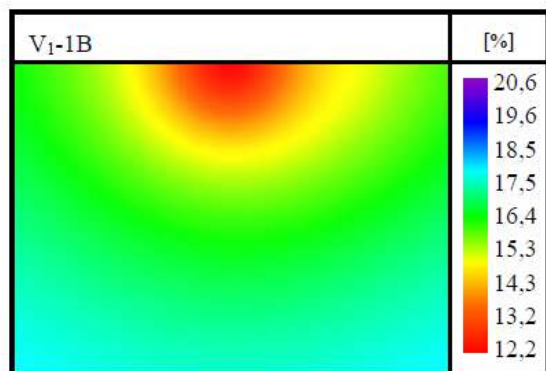


Obr. č. 84: Místa měření vlhkosti na řezu

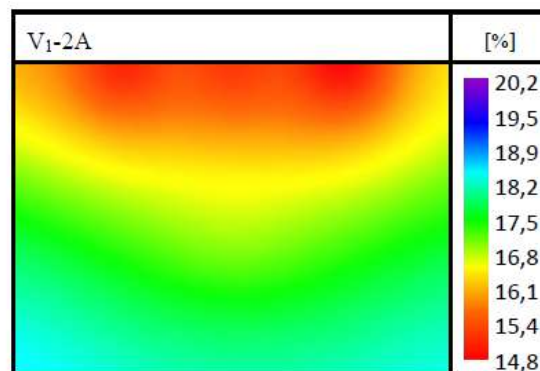
Tabulka č. 4

řez	místo měření						
	a	b	c	d	e	f	g
	[%]						
V ₁ -1B	11,3	15,7	17,9	16,5	15,0	14,0	16,1
V ₁ -2A	14,8	16,4	18,3	15,6	14,5	14,2	16,1
V ₁ -2B	13,3	15,6	16,8	16,8	13,6	11,8	13,9
V ₁ -3A	13,8	16,1	18,1	15,4	13,0	14,0	16,2
V ₁ -3B	13,4	16,3	17,8	15,2	12,5	12,5	14,4
V ₁ -4A	12,9	15,9	18,3	15,2	11,8	13,1	15,0
V ₁ -4B	12,9	15,5	17,0	14,7	13,2	11,5	14,5
V ₁ -5A	12,5	16,2	18,3	15,0	12,5	13,2	14,4
V ₁ -5B	13,6	16,0	18,0	16,0	13,1	11,3	13,0
V ₁ -6A	12,8	17,0	18,9	15,7	12,5	13,9	15,9
V ₁ -6B	13,8	16,3	18,1	15,5	14,1	13,6	15,0
V ₁ -7A	14,6	17,3	20,1	16,6	14,3	15,1	17,0
V ₁ -7B	14,5	17,3	20,1	15,7	15,5	14,8	16,2
V ₁ -8A	15,3	17,5	20,2	17,7	15,9	16,0	17,1

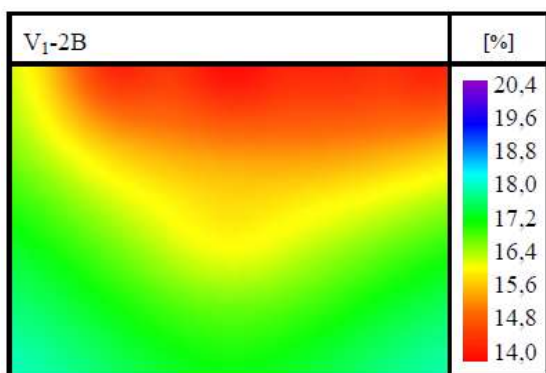
Následně byl z těchto měření vypracován grafický výstup, na kterém můžeme sledovat rozložení vlhkosti na řezech (viz obr. č. 85-98).



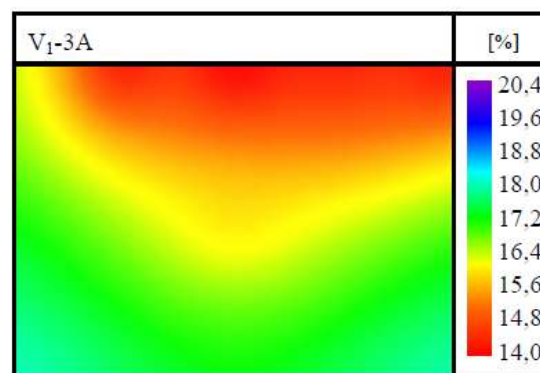
Obr. č. 85: Vlhkost na řezu vzorku V_I-1B



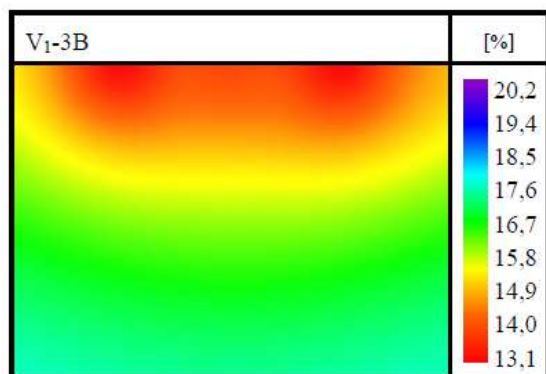
Obr. č. 86: Vlhkost na řezu vzorku V_I-2A



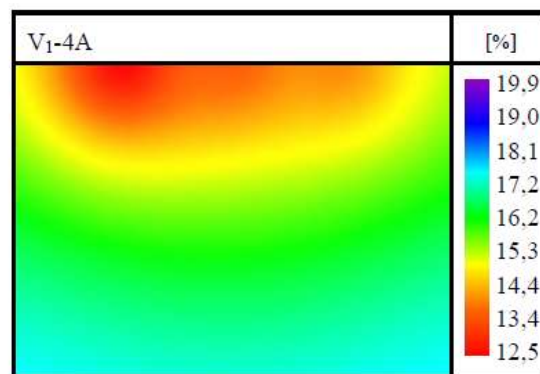
Obr. č. 87: Vlhkost na řezu vzorku V_I-2B



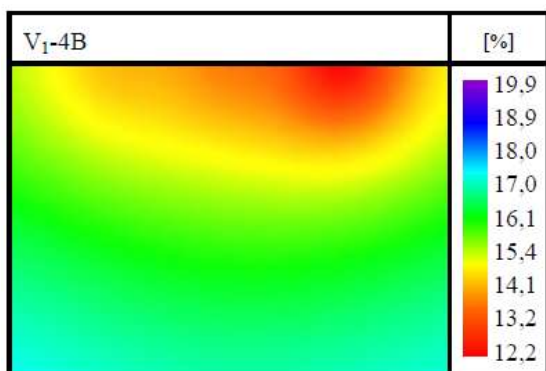
Obr. č. 88: Vlhkost na řezu vzorku V_I-3A



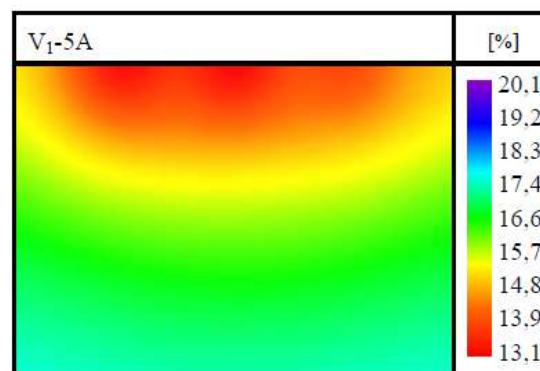
Obr. č. 89: Vlhkost na řezu vzorku V_I-3B



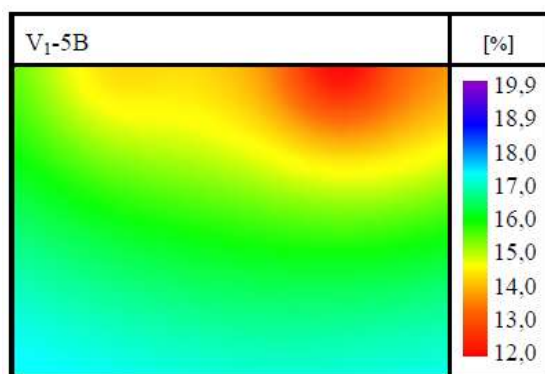
Obr. č. 90: Vlhkost na řezu vzorku V_I-4A



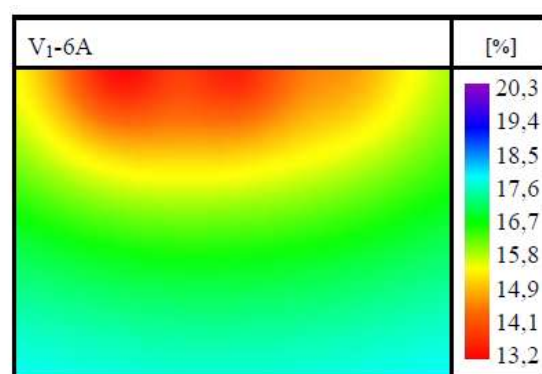
Obr. č. 91: Vlhkost na řezu vzorku V_I-4B



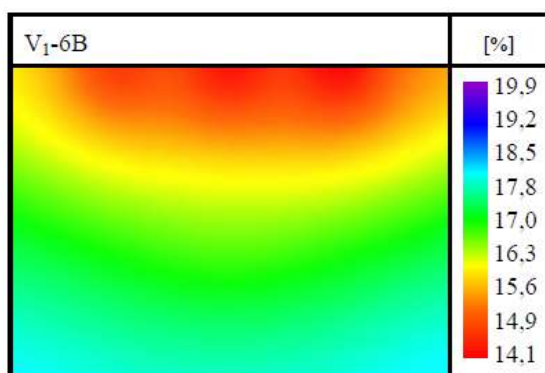
Obr. č. 92: Vlhkost na řezu vzorku V_I-5A



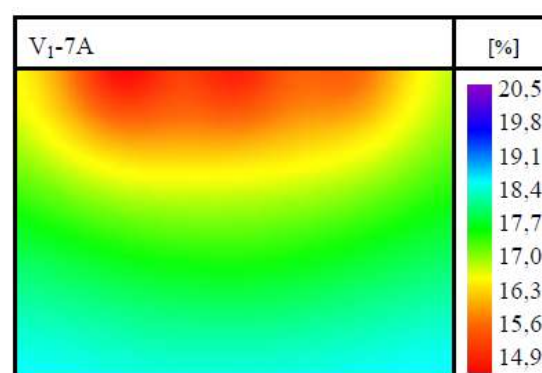
Obr. č. 93: Vlhkost na řezu vzorku V₁-4B



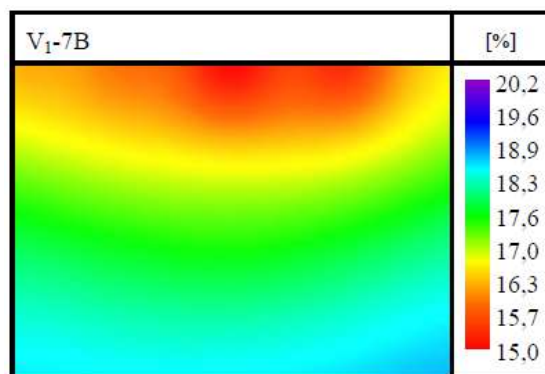
Obr. č. 94: Vlhkost na řezu vzorku V₁-5A



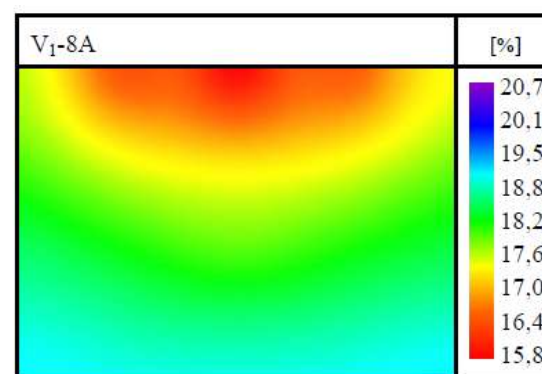
Obr. č. 95: Vlhkost na řezu vzorku V₁-6B



Obr. č. 96: Vlhkost na řezu vzorku V₁-7A



Obr. č. 97: Vlhkost na řezu vzorku V₁-7B



Obr. č. 98: Vlhkost na řezu vzorku V₁-8A

Na obrázcích č. 85 - č. 98 můžeme vidět, že nejméně vlhké je dřevo přímo pod nástřikem izolačního materiálu. Měření prokázalo, že se pod materiálem nezdržuje vlhkost, tudíž nebude mít negativní vliv na strukturu ani na pevnost dřeva. V tomto ohledu je materiál vhodný pro použití na dřevěných prvcích.

6.1.2 Odtrhové zkoušky

Pro ověření přílnavosti izolačního materiálu ke dřevu byly uskutečněny odtrhové zkoušky na šesti zkušebních tělesech. Na zkušebním tělese O_1 o rozměrech 160x75x565 mm bylo provedeno celkem 6 odtrhů. Na každém ze vzorků V_1-3 - V_1-6 byl proveden jeden odtrh. Pro zjištění přílnavosti na jiných materiálech, byla použita OSB deska. Velikost tohoto vzorku byla 15x350x350 mm a bylo na něm provedeno 6 odtrhů. Byla zaznamenána nejen potřebná síla k odtržení hmoty, ale také vlhkost, která byla pod místem odtrhu. Všechna naměřená data jsou zaznamenána v tabulce č. 5. V grafu č. 5 můžeme pozorovat rozdílnost maximálního napětí na dřevě a na OSB desce.

Tabulka č. 5

vzorek	číslo odtrhu	naměřená vlhkost			průměrná vlhkost	plocha	síla	napětí
		[%]			[%]	[mm ²]	[kN]	[MPa]
O_1	1	NH	NH	NH	-	1963,5	4,948	2,520
	2	NH	NH	NH	-	1963,5	4,725	2,406
	3	NH	NH	NH	-	1963,5	6,296	3,207
	4	NH	NH	NH	-	1963,5	5,738	2,922
	5	NH	NH	NH	-	1963,5	7,242	3,688
	6	NH	NH	NH	-	1963,5	5,947	3,029
V_1-3	1	13,5	13,2	13,9	13,53	1963,5	5,970	3,040
V_1-4	1	12,7	12,5	12,4	12,53	1963,5	5,196	2,646
V_1-5	1	NZ	NZ	NZ	-	1963,5	NZ	NZ
V_1-6	1	11,7	12,8	13,4	12,63	1963,5	5,838	2,973
OSB	1	6,6	6,4	6,8	6,6	1963,5	1,139	0,580
	2	6,8	6,3	6,7	6,6	1963,5	0,941	0,479
	3	6,5	6,3	6,4	6,4	1963,5	1,270	0,647
	4	6,1	6,1	6,2	6,13	1963,5	0,942	0,480
	5	6,5	6,4	6,3	6,4	1963,5	0,789	0,402
	6	6,0	6,5	6,6	6,37	1963,5	1,257	0,640

Pozn.: NH ... vlhkost mimo rozsah měřicího přístroje (< 6%)

NZ ... nelze změřit, nedošlo k odtržení hmoty od dřeva (selhání lepidla)

** nedošlo k odtržení vzorku*

Graf č. 5: Maximální dosažené napětí při odtrhové zkoušce

Při odtrhu byl vyvozován tak kolmo k vláknům. Odtržení hmoty proběhlo tím způsobem, že došlo k porušení struktury dřeva (viz obr. č. 99), to znamená, že přilnavost hmoty ke dřevu je vyšší, než je pevnost dřeva kolmo k vláknům. Tento jev jsme mohli pozorovat také při odtrhových zkouškách na OSB desce. Na základě zkoušek lze říci, že přilnavost ke dřevu je vysoká, a to i za různých vlhkostí.



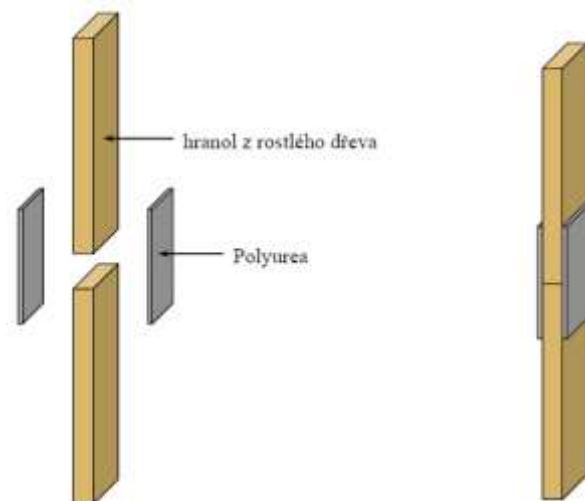
Obr. č. 99: Vzorek O₁ po odtrhových zkouškách



Obr. č. 100: Vzorek V₁-3 po odtrhové zkoušce

6.1.3 Tahové zkoušky

Pro tahovou zkoušku bylo připraveno 13 zkušebních vzorků z rostlého dřeva. Každý vzorek byl složen ze dvou stejných částí o rozměrech 20x50x200 mm. Tyto dvě části byly spojeny nástřikem izolace Polyurea GME (tloušťka nástřiku 1,5 mm) viz obrázek č. 101. Takovýmto spojením jsme dosáhli toho, že byla na tah zkoušena samotná izolační hmota.

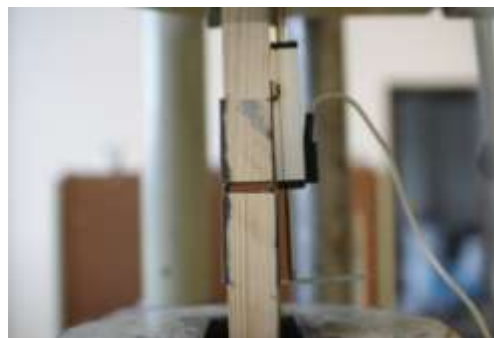


Obr. č. 101: Ilustrace zhotovení vzorku pro tahové zkoušky

Následně byly provedeny tahové zkoušky tří skupin vzorků. Tyto skupiny se od sebe lišily pouze v teplotě zkoušených vzorků. Průběh zkoušek můžeme vidět na obrázcích č. 102 - č. 104. Výsledky zkoušek jsou zaznamenány v tabulce č. 6.



Obr. č. 102: Průběh tahové zkoušky



Obr. č. 103: Průběh tahové zkoušky



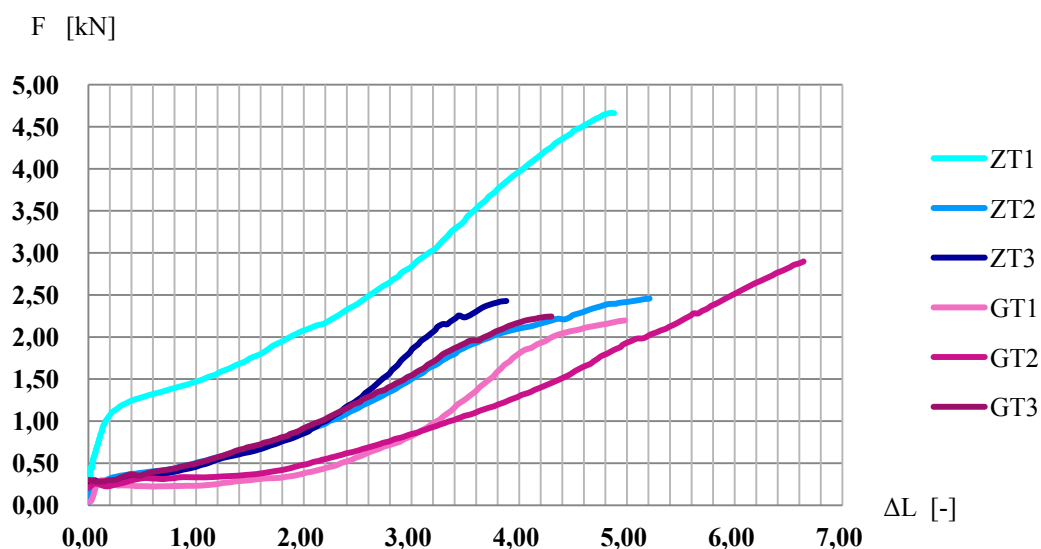
Obr. č. 104: Průběh tahové zkoušky

Tabulka č. 6

vzorky		teplota vzorku			max. síla	příslušná deformace
označení	skupina	začátek měření	konec měření	průměr		
[°C]					[kN]	[mm]
ZT ₁	snížená teplota	-3,3	7,4	2,1	4,66	4,88
ZT ₂		-1,6	7,2	2,8	2,46	5,21
ZT ₃		-0,9	7,0	3,1	2,43	3,88
GT ₁	pokojová teplota	23,0			2,20	4,98
GT ₂		23,3			2,90	6,64
GT ₃		23,1			2,24	4,30
4	zvýšená teplota	49,8	41,6	45,7	2,38	1,17
5		47,0	37,0	42,0	1,70	8,60
6		52,8	41,8	94,6	1,17	0,78
7		50,3	37,3	43,8	1,95	1,13
8		47,3	38,2	42,8	1,86	3,20
9		45,0	34,6	39,8	1,71	0,56
10		50,1	42,6	46,4	1,8	2,05

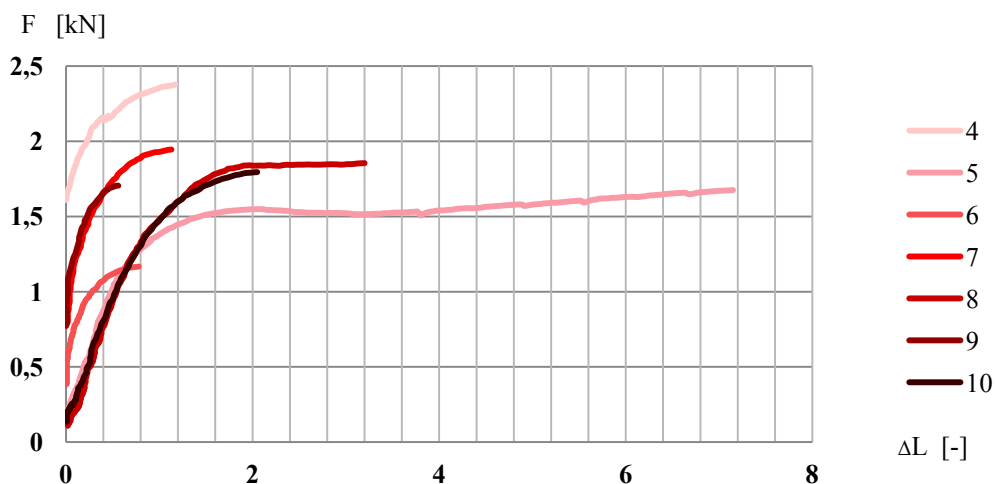
Při této zkoušce byla zjišťována průtažnost hmoty. Důvodem této zkoušky byla nutno zjistit, zda hmota nebude při namáhání konstrukcí praskat případně se odlupovat.

Grafy č. 6 a č. 7 zaznamenávají průběh síly (až do její maximální hodnoty) a příslušné deformace. Na grafu č. 6 můžeme pozorovat, že chování hmoty je při pokojové a snížené teplotě velice podobné. Maximální dosažená síla je průměrně 2,82 kN a maximální příslušná deformace je průměrně 4,98 mm.

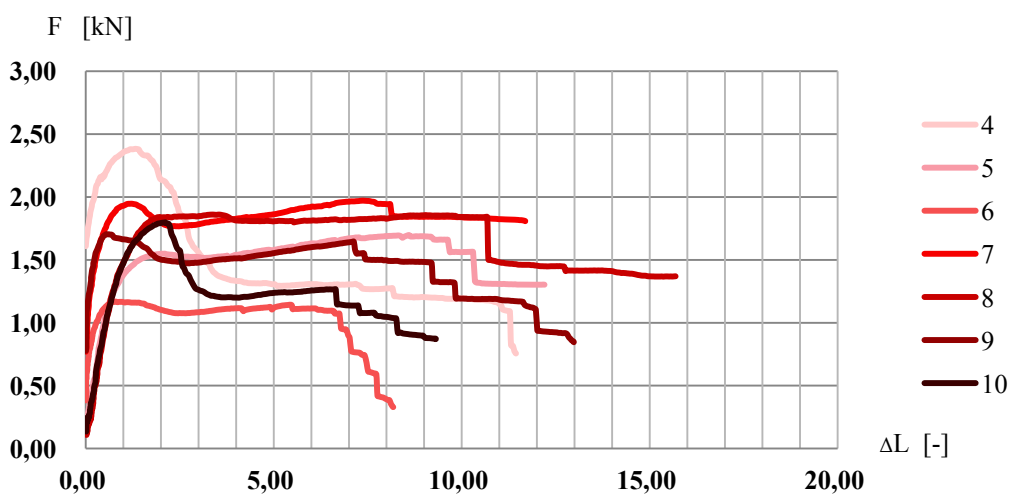


Graf č. 6: Průběh tahové zkoušky do hodnoty maximální síly s příslušnou deformací

V grafu č. 7 vidíme průběh síly a příslušné deformace pro tahovou zkoušku vzorků se zvýšenou teplotou. Průměrná maximální síla měla velikost 2,09 kN s průměrnou příslušnou deformací 2,92 mm. Na grafu č. 8 můžeme pozorovat průběh chování materiálu na vzorcích se zvýšenou teplotou, až do maximální deformace s příslušnou silou.



Graf č. 7: Průběh tahové zkoušky do hodnoty maximální síly s příslušnou deformací



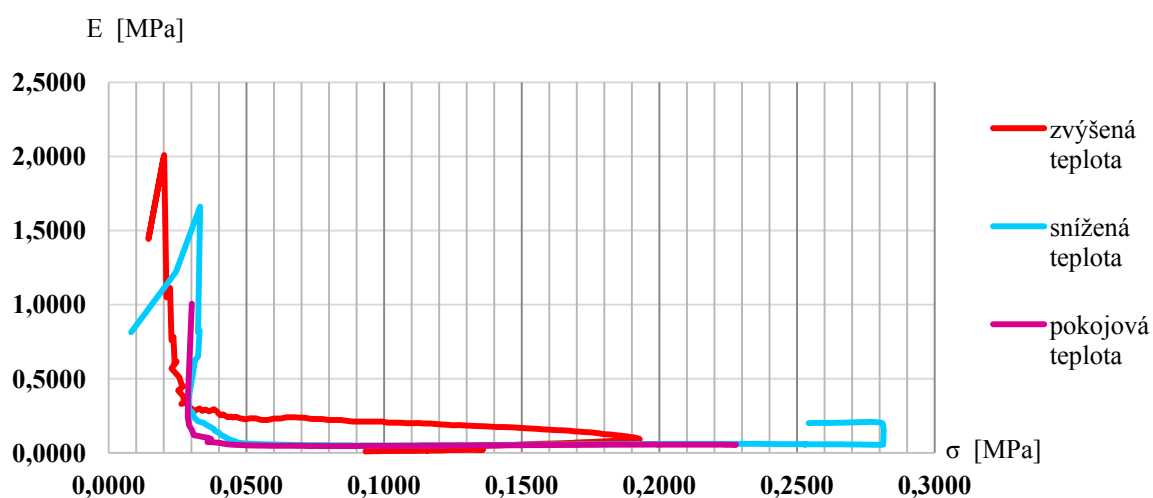
Graf č. 8: Průběh tahové zkoušky do hodnoty maximální deformace

Můžeme pozorovat velký rozdíl v průběhu nárůstu síly. U vzorků o pokojové a snížené teplotě vidíme pozvolný nárůst síly do jejich maximálních hodnot s větší deformací, zatímco u ohřátých vzorků pozorujeme strmý nárůst síly do jejich maximálních hodnot s menší deformací.

U vzorků se sníženou a pokojovou teplotou je příslušná deformace k maximální dosažené síle zároveň maximální dosaženou deformací. Oproti tomu, u vzorků se zvýšenou teplotou i po dosažení maximální dosažené síly se deformace i nadále zvětšuje, a to dosti významně (viz graf č. 8).

U grafu č. 5 je maximální napětí a deformace dosaženo postupným zatěžováním hmoty, neplatí zde sice přímá úměrnost mezi silou a deformací, ale průběh k ní má blízko. U grafu č. 7 je maximální síly dosaženo prudce za malé deformace, poté se již zvětšuje pouze deformace, a to buď při přibližně stejné síle, nebo při klesající síle. Dá se tedy říci, že při oteplení má materiál schopnost větší průtažnosti.

V grafu č. 9 pak můžeme pozorovat rozdílnost průběhu modulu pružnosti v závislosti na napětí.



Graf č. 9: Změna modulu pružnosti vlivem teploty

Při měření bylo pozorováno, že první trhliny v materiálu očekávaně vznikaly v místech jeho imperfekcí (bubliny), viz obr. č. 105 a č. 106. Dále bylo také pozorováno, že po ukončení působení zatížení má hmota schopnost navrácení protažení hmoty do původního tvaru, a to pouze s malými deformacemi (viz obr. č. 107). Toto chování je z hlediska použití na namáhaných prvcích dřevěných konstrukcí příznivé.



Obr. č. 105: Počáteční imperfekce



Obr. č. 106: Trhlina od počáteční imperfekce



Obr. č. 107: Poškození po zatěžování



Obr. č. 108: Hmota po zatěžování s minimálními deformacemi

6.2 Výsledky experimentu

6.2.1 Vlhkostní zkouška

Izolační materiál Polyurea aplikovaná na vrchní straně trámku vykazuje na všech vzorcích příznivé působení při dosažení vlhkosti dřeva na obnažených stranách 20%. Nebyla překročena vlhkost pod izolací o hodnotě 15%. Uvedené hodnoty prokazují, že nedochází k nadměrnému vlhnutí dřeva pod izolací vlivem okolního prostředí. Toto chování prokazuje vhodnost aplikace na dřevěné prvky v praxi. Také bylo prokázáno, že izolační materiál Polyurea byl stabilní jak při různých teplotách, tak i při různých vlhkostech. Ani při vysoušení vzorku nedocházelo k rozpojování se dřevem ani ke vzniku bublin a puchýřů.

6.2.2 Odtrhová zkouška

Jedním z nejdůležitějších parametrů pro izolaci je soudržnost izolační hmoty s dřevěným materiálem. Byly provedeny odtrhové zkoušky na rostlém dřevu a také na OSB deskách. Při těchto zkouškách byla prokázána výborná soudržnost izolačního materiálu, protože všechny provedené odtrhové zkoušky skončily porušením dřeva (tah kolmo na vlákna) a nikdy nedošlo k porušení izolační hmoty. Porušení bylo tedy závislé na pevnosti dřeva v tahu kolmo na vlákna, kde bylo naměřeno hodnot v rozmezí 2,4 - 3,7 MPa pro rostlé dřevo a 0,4 - 0,64 MPa pro OSB desky. Tímto bylo prokázáno, že soudržnost materiálu je natolik vysoká, že pro aplikaci v praxi je tento materiál velmi vhodný.

6.2.3 Tahová zkouška

Posledním sledovaným parametrem byla průtažnost izolačního materiálu, která je důležitá pro objemové změny izolovaného materiálu při různých teplotách v čase. V případě nepříznivých výsledků by mohlo dojít k trhání a prasklinám izolačního materiálu. Uvedené zkoušky prokázaly, že při různých teplotách (-5°C; +20°C, +40°C) je průtažnost natolik velká, že při jakýchkoliv změnách izolovaného materiálu není možné porušení izolačního materiálu. Uvedené výsledky prokazují příznivé výsledky pro použití v praxi.

7 Dřevěná lávka Velký Šenov

Sledovaná lávka se nachází v Ústeckém kraji, okrese Děčín na pomezí obcí Mikulášovice a Velký Šenov. Přemost'ovanou překážkou je stávající železniční trať mezi Velkým Šenovem a Vilémovem. Lávka byla uvedena do provozu na jaře roku 2015. Před zahájením provozu na lávce byla provedena statická a dynamická zatěžovací zkouška, která posloužila jako podklad pro tuto diplomovou práci, konkrétně pro porovnání srovnání výpočtu numerického a MKP modelů (prutový, desko-stěnový).



Obr. č. 109: Lokace lávky

7.1 Popis lávky

Lávka je tvořena kolmou dřevěnou konstrukcí o šířce 1,9 metrů a délce 15,49 metrů. Nosná konstrukce je tvořena dvěma hlavními plnostěnnými nosníky a mostovkou tvořenou příčníky, podélníky a mostinami.



Obr. č. 110: Lávka Velký Šenov

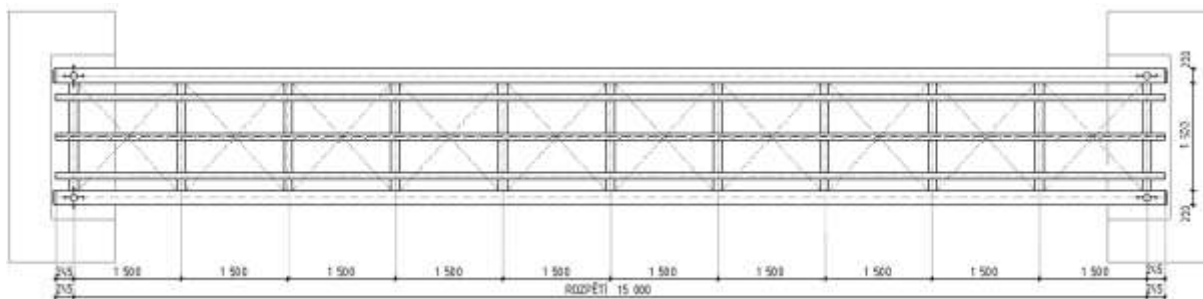
7.1.1 Založení

Pod spodní stavbou se nachází skalní hornina třídy R6. Kotvení spodní stavby je realizováno pomocí ocelových kotev. Úložné prahy jsou provedeny ze železobetonu třídy C30/37 a výztuže R10505.

7.1.2 Uložení

Uložení mostu je tvořeno čtyřmi kloubovými čepovými ložisky, z toho dvě jsou pevná a dvě posuvná. Do spodní stavby jsou kotveny pomocí čtyř chemických kotev M16. Ložiska jsou dále kotvena do hlavních nosníků, a to pomocí dvou šroubů M20 třídy 8.8

7.1.3 Konstrukce lávky a její geometrie



Obr. č. 111: Schéma nosné konstrukce

Hlavní nosníky z lepeného lamelového dřeva třídy GL 24h mají délku 15,49 m, přičemž působí jako prosté nosníky s rozpětím 15,0 metrů. Velikost hlavních nosníků je 0,2 x 1,5 metrů. Na těchto nosnících je realizováno nadvýšení 180 mm.

Nosná konstrukce mostovky je tvořena třemi podélníky spočívajícími na jedenácti příčnících. Světlá šířka lávky je 1,5 metrů. Podélníky a příčníky jsou, stejně jako hlavní nosníky, z lepeného lamelového smrkového dřeva třídy GL 24h. Průřez podélníků má rozměry 0,1x0,1 metrů. Podélníky mají statické schéma spojitého nosníku. Příčníky mají rozměr 0,12x0,28 metrů a působí v konstrukci jako prostý nosník.

Mostiny uložené na podélnících jsou z rostlého modřínového dřeva. Velikost profilu je 60x160 mm. Mostiny staticky působí jako nosníky o dvou polích s převislými konci.

Přípoj příčníků na hlavní nosníky je realizován pomocí svařence z plechů tloušťky 10 a 8 milimetrů a třídy oceli S325. Příčníky jsou s plechem spojeny šesti šrouby M16, hlavní nosníky pak čtyřmi šrouby M20.

Prostorové ztužení mostu je realizováno pomocí ocelových táhel třídy S355 umístěných mezi příčníky pod mostovkou. Táhla jsou umístována po dvou do kříže, vždy

mezi dvěma příčnický. Táhla o průměru 20 mm jsou umístována vždy na dvou krajních polích lávky, táhla ve zbytku polí pak mají průměr 24 mm.

7.1.4 Ošetření konstrukce

Povrchová úprava dřeva byla provedena pro třídu provozu 3. Konstrukce je naimpregnována a dále byla opatřena dvěma nátěry lazury. Dále byly horní a boční strany hlavních nosníků opatřeny krycí lamelou tloušťky 30 mm. Jako ochrana podélníků a příčnicků byly jejich horní strany opatřeny modifikovaným asfaltovým pásem. Ocelové části konstrukce jsou všechny žárově pozinkované.

7.2 Statický výpočet

Statický výpočet byl proveden pomocí programu Excel, ve kterém autorka této diplomové práce vytvořila univerzální statický výpočet pro vybraný druh lávek. Podrobný statický výpočet viz příloha C1 *Statický posudek - Lávka Velký Šenov*. Statický posudek byl počítán dle platných norem [2] [3] [4].

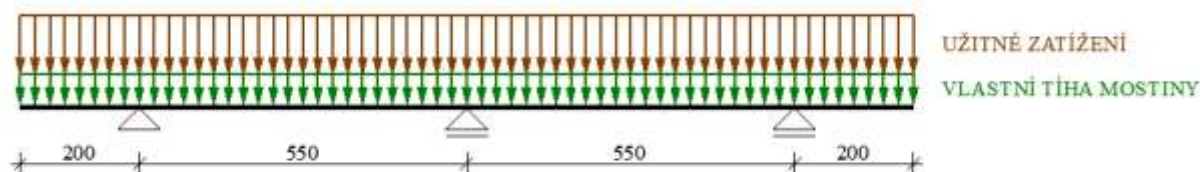
7.2.1 Zatížení

Pro statický posudek numerickým výpočtem bylo použito sestavy zatížení gr1. Jako svislé užité zatížení, které vyvolá na konstrukci nejnepříznivější účinky, bylo zvolenou zatížení reprezentující dav lidí s hodnotou 5 kN/m^2 . Toto zatížení bylo zvoleno proto, že zatížení od obslužného vozidla, které by mohlo případně vyvolat horší účinky, není přípustné, což vyplývá z úzkého průchozího profilu lávky.

7.2.3 Posouzení mostiny

Mostina lávky o délce 1,5 metrů má profil 60 x 160 milimetrů. Jedná se o rostlé modřínové dřevo třídy C30. Pro tuto třídu pevnosti je charakteristická pevnost ve smyku $f_{v,k} = 3 \text{ MPa}$ a charakteristická pevnost v ohybu $f_{m,k} = 14 \text{ MPa}$.

Model mostiny byl počítán jako nosník o dvou polích s převislými konci na obou stranách, přičemž rozpětí jednoho pole je 0,55 m (viz obr. č. 109).



Obr. č. 112: Statické schéma mostiny

Pro zatížení prvku byla použita jeho vlastní tíha a užité zatížení. Dále byly spočítány reakce a následně vnitřní síly nosníku pomocí numerického výpočtu.

V mezním stavu únosnosti bylo z posouvající síly spočítáno smykové napětí dle vztahu (4).

$$\tau_{Ed} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A_v} \quad (4)$$

a dále z ohybového momentu napětí od ohybu dle vztahu (5).

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} \quad (5)$$

Přičemž ve vztahu (4) je k_{cr} součinitel vlivu trhlin, který závisí na druhu použitého dřeva a A_v je plocha vzdorující smyku. Ve vztahu (5) je pak W_y modul průřezu v ohybu.

Poté bylo smykové napětí porovnáno s návrhovou pevností ve smyku, která byla vypočítána dle vztahu (6) a napětí od ohybu bylo porovnáno s návrhovou pevností v ohybu, které bylo spočítáno dle vztahu (7).

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \quad (6)$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \quad (7)$$

Ve vztahu (6) i (7) je k_{mod} modifikační součinitel závisející na druhu dřeva a délce působícího zatížení. Smykové napětí i ohybové napětí vyhovělo požadavkům. Byly tedy splněny všechny požadavky pro mezní stav únosnosti.

Následně byl průřez posouzen pro mezní stav použitelnosti. Byl spočítán okamžitý průhyb od stálého a proměnného zatížení. Výpočet okamžitého průběhu byl proveden pomocí vztahu (8), kde ϕ je to číslo zohledňující druh statického působení nosníku.

$$w_{inst} = \frac{\Phi \cdot g_k \cdot L^4}{E \cdot I} + \frac{\Phi \cdot q_k \cdot L^4}{E \cdot I} \quad (8)$$

Průhyb nosníku o dvou polích s převislými konci byl spočítán pomocí integrace ohybové čáry. Okamžitý průhyb vyhověl podmínce (9).

$$w_{inst} \leq \frac{L}{250} \quad (9)$$

Dále byl spočítán konečný průhyb dle vzorce (10).

$$w_{net,fin} = w_{inst,g} \cdot (1 + k_{def}) + w_{inst,q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \quad (10)$$

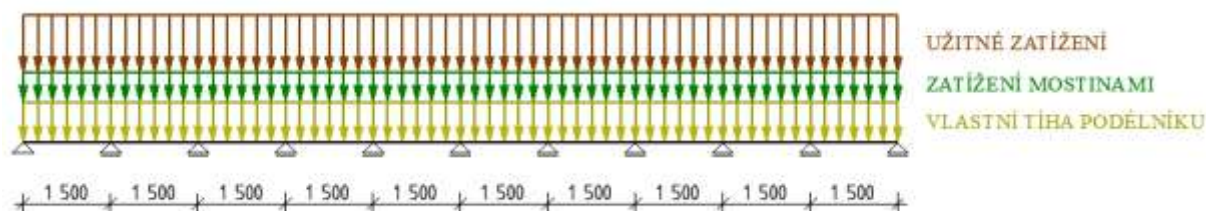
Konečný průhyb vyhověl podmínce (11) doporučeného průhybu a byly tak splněny podmínky pro mezní stav použitelnosti.

$$w_{net,fin} \leq \frac{L}{250} \quad (11)$$

7.2.4 Posouzení podélníku

Podélník o délce 15,49 m a profilu 0,1 x 0,1 m má statické schéma spojitého nosníku o 10 polích. Převísle konce o osově velikosti byly pro ruční výpočet zanedbány. Vzhledem k tomu, že pro spojitý nosník o pěti a více polích je rozdíl ve vnitřních silách a průhybech nosníku minimální, byl podélník počítán jako nosník o 5 polích. Profil byl zatížen spojitým zatížením, které bylo sestaveno z vlastní tíhy podélníku, dále z tíhy mostin a poté i užitným zatížením.

Profil je zhotoven z lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti GL24h. Pro tuto třídu pevnosti je stanovena charakteristická pevnost ve smyku $f_{v,k} = 3,5$ MPa a charakteristická pevnost v ohybu $f_{m,k} = 24$ MPa.



Obr. č. 113: Statické schéma podélníku

Pomocí statických tabulek [73] byly spočítány reakce a následně vnitřní síly. Z posouvající síly bylo vypočítáno smykové napětí dle vztahu (4) a z ohybového momentu pak napětí v ohybu dle vztahu (5). Výsledná napětí byla porovnána s návrhovou pevností ve smyku a ohybu.

Napětí ve smyku i ohybu při posudku vyhovělo, byl tedy splněn mezní stav únosnosti. V mezním stavu použitelnosti byl spočítán okamžitý a konečný průhyb. Vztah pro výpočet průhybu byl spočítán pomocí integrace ohybové čáry. Výsledky průhybu byly porovnány s doporučenými průhyby pro prvek a to dle vztahu (9) a (11). Okamžitý i konečný průhyb při posudku vyhověl doporučeným hodnotám, byl tedy splněn i mezní stav použitelnosti.

7.2.4 Posouzení příčnicku

Příčník sledované lávky má profil 120x280 milimetrů a délku 1,5 metrů. Jedná se o lepené lamelové dřevo o třídě pevnosti GL24h. Pro tuto třídu pevnosti je stanovena charakteristická pevnost ve smyku $f_{v,k} = 3,5$ MPa a charakteristická pevnost v ohybu $f_{m,k} = 24$ MPa.

Příčník v konstrukci působí jako prostý nosník. Zatížení bylo realizováno pomocí spojitého zatížení, které představuje vlastní tíhu příčníku a dále osamělými břemeny, které představují přenos užitého zatížení, tíhy mostin a podélníků. Tyto lokální síly jsou umístěny v místech uložení podélníků (viz obr. č. 113).



Obr. č. 114: Statické schéma příčníku

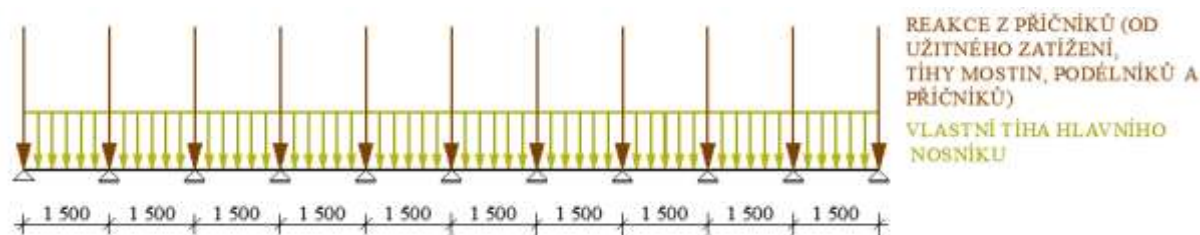
Numerickým výpočtem byly spočítány reakce a následně vnitřní síly. Z posouvající síly bylo vypočítáno smykové napětí (4) a z ohybového momentu pak napětí v ohybu (5). Výsledná napětí byla porovnána s návrhovou pevností ve smyku a ohybu. Napětí ve smyku i ohybu při posudku vyhovělo, byl tedy splněn mezní stav únosnosti.

V mezním stavu použitelnosti byl spočítán okamžitý a konečný průhyb. Vztah pro průhyb nosníku byl vypočítán pomocí integrace ohybové čáry. Výsledky byly porovnány s největšími přípustnými průhyby pro prvek a to dle vztahu (9) a (11). Okamžitý i konečný průhyb při posudku vyhověl doporučeným hodnotám, byl tedy splněn i mezní stav použitelnosti.

7.2.5 Posouzení hlavního nosníku

Profil hlavního nosníku je 200x1500 mm o délce 15,49 m. Třída pevnosti je GL24h. Pro tuto třídu pevnosti je stanovena charakteristická pevnost ve smyku $f_{v,k} = 3,5$ MPa a charakteristická pevnost v ohybu $f_{m,k} = 24$ MPa.

Prvek působí jako prostý nosník s rozpětím 15 metrů. Nosník byl zatížen lokálními silami vzniklými od užitého zatížení, tíhy mostin s příčníky a podélníky. Síly byly umístěny v místě připojení příčníků. Dále byl prvek zatížen spojitým zatížením, které představuje vlastní tíhu hlavního nosníku (viz obr. č. 114)



Obr. č. 115: Statické schéma hlavního nosníku

Pomocí numerického výpočtu byly spočítány reakce a následně vnitřní síly. Z posouvající síly bylo vypočítáno smykové napětí (4) a z ohybového momentu pak napětí v ohybu dle vztahu (5). Výsledná napětí byla porovnána s návrhovou pevností ve smyku a ohybu. Napětí ve smyku i ohybu při posudku vyhovělo. Byl tedy splněn mezní stav únosnosti. Nadále bylo nutné ověřit, zde uložení hlavních nosníků na ložiska je v dostatečné vzdálenosti od okrajů nosníku. Výpočet byl založen na únosnosti dřeva v tlaku kolmo k vláknům. Charakteristická pevnost v tlaku (otlačení) kolmo k vláknům pro lepené lamelové dřevo třídy GL24h je stanovena $f_{c,90,k} = 2,5$ MPa. Z výpočtu bylo zjištěno, že minimální vzdálenost pro umístění uložení nosníku by měla být 298,6 mm. Této hodnotě však reálná konstrukce neodpovídá, její osové uložení od okrajů nosníku je 245 mm.

V mezním stavu použitelnosti byl spočítán okamžitý a konečný průhyb. Výsledky byly porovnány s doporučenými hodnotami průhybu pro nosníky (9) a (11). Okamžitý i konečný průhyb při posudku vyhověl, byl tedy splněn mezní stav použitelnosti.

7.2.6 Šroubové spoje

Dalším krokem byl výpočet nutného počtu šroubů a to jak pro připevnění v příčniku a pro připevnění do hlavního nosníku.

Pro připevnění plechu k příčniku je na lávce použito šesti šroubů M16 pevnosti 8.8. V tomto případě se jedná o dvoustřížný spoj ocel-dřevo. Bylo zjištěno, že tloušťka plechu t_1 splňuje podmínku pro tenkou desku (12).

$$t_1 \leq 0,5 \cdot d \quad (12)$$

Kde d je průměr šroubu. Poté byl proveden výpočet únosnosti jednoho spojovacího prostředku na stříh pro tenkou desku dvoustřížného spoje dle vztahu (13).

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,k} \cdot t_n \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \end{array} \right. \quad (13)$$

Pro nutný počet šroubů, byl proveden výpočet dle vzorce (14).

$$n_{nut} = \frac{V_{Ed}}{F_{v,Rk}} \quad (14)$$

Ve vztahu (14) je V_{Ed} reakce od příčniku. Bylo zjištěno, že návrh projektanta byl předimenzovaný a pro dané zatížení lávky by stačilo použití 3 šroubů, tedy polovičního počtu, než je ve skutečnosti na lávce použito.

Pro spojení plechu u hlavního nosníku bylo použito 4 šroubů M20 pevnosti 8.8.. V tomto případě se jedná se o jednostřížný spoj. Byla splněna podmínka pro výpočet pro tenkou desku dle vztahu (12), proto je nutno vypočítat únosnost pro jeden spojovací prostředek pro tenkou desku jednostřížného spoje (15).

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_n \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \end{array} \right. \quad (15)$$

Dále byl opět proveden výpočet dle vztahu (14) pro zjištění nutného počtu šroubů. Bylo vypočítáno, že je potřeba minimálně tři šroubů. Ve skutečnosti je dle zvoleného druhu připojení nutno použít 4 šroubů, aby bylo dosaženo rovnoměrného působení šroubů ve styčnicku. Takovýto počet šroubů byl zvolen také ve skutečnosti na konstrukci (viz příloha B.06 - Detail A - Připojení příčnicku na hlavní nosník). Poté byly vypočteny jednotlivé rozteče šroubů jako u příčnicku tak u hlavního nosníku. Tímto výpočtem bylo zjištěno, že reálná konstrukce vyhovuje požadavkům na rozmístění šroubů.

7.2.7 Výpočet svaru

Na plechovém svařenci, který nám pomáhá připojit příčnicku k hlavním nosníkům, je nutné spočítat únosnost provedených svarů. Konkrétně se jedná o posouzení koutového svaru pomocí metody užívající směr namáhání. V technické ani výkresové dokumentaci nebyl blíže specifikován rozměr svaru. Proto byl zvolen výpočet nejmenšího svaru, který je možno použít na konstrukcích, a to konkrétně $a = 3 \text{ mm}$.

Prvním výpočtem bylo nutné stanovit smykové napětí ve směru svaru (16),

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{4 \cdot a \cdot l} \quad (16)$$

kde V_{Ed} je reakce vznikající v příčnicku, l je délka svaru. Dále byl spočítán moment od excentricity působení síly V_{Ed} a následně výsledné napětí svaru (17),

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W_{el,w}} \quad (17)$$

kde $W_{el,w}$ je elastický modul průřezu svaru. Z výsledného napětí bylo následně vypočítáno normálové a smykové napětí kolmo na podélnou osu svaru (18).

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \sigma_w \cdot \cos 45^{\circ} \quad (18)$$

Nakonec byl proveden posudek na únosnost svaru (19),

$$\sqrt{\sigma_{\perp} + 3 \cdot (\tau_{\perp} + \tau_{II})} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (19)$$

kde β_w je korelační součinitel a γ_{M2} je součinitel spolehlivosti.

Výpočtem bylo prokázáno, že i v případě použití minimální velikosti svaru, je svar vyhovující.

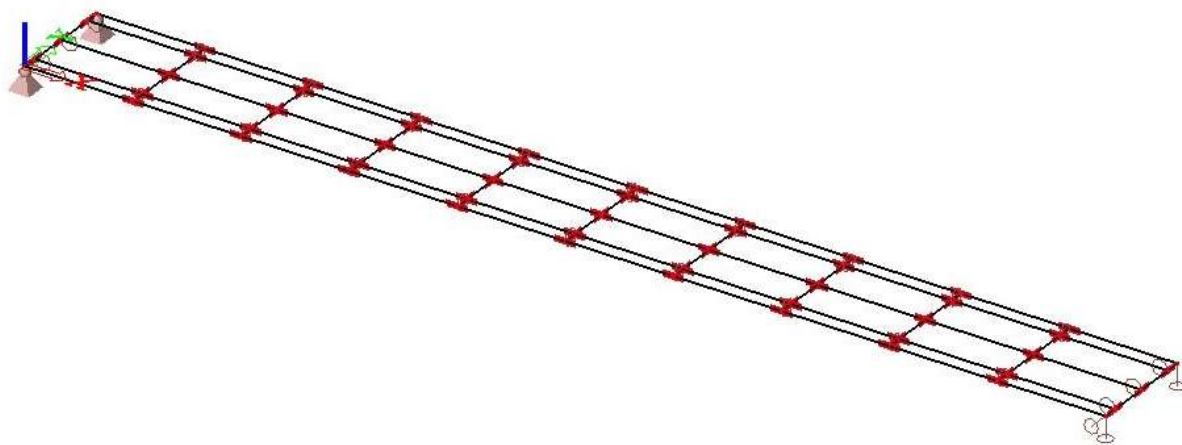
7.3 Výpočtové MKP modely

Byly vytvořeny dva počítačové výpočtové modely - prutový a desko-stěnový, a to pomocí programu Scia Engineer 15.1.

7.3.1 Prutový model

Tento výpočetní model byl složen z prutových prvků. Byly vytvořeny všechny nosné prvky, kromě mostin, byla však započítána jejich vlastní tíha ve formě spojitého zatížení na podélnících. Připojení příčníků na hlavní nosníky bylo provedeno pomocí vložených kloubů. Spolupůsobení v místech křížení prutů představující podélníky a příčníky bylo zajištěno připojením uzlů. Podpory modelu byly vytvořeny podle reálné konstrukce - na jedné straně nosníků byly vloženy kloubové podpory, na druhé pak podpory posuvné ve směru x (obr. č. 115).

Na tomto modelu byla také provedena dynamická analýza konstrukce.



Obr. č. 116: Prutový model konstrukce

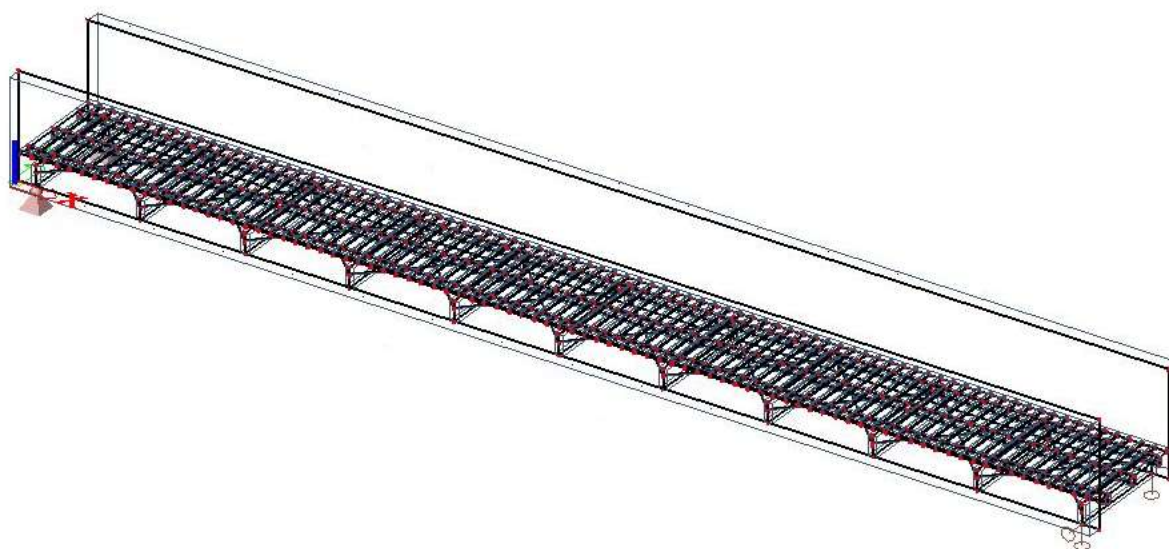
Zatížení modelu

Byla vytvořena zatížení jak pro srovnání numerického výpočtu, tak pro srovnání se statickou zatěžovací zkouškou. Prvním z nich bylo zatížení reprezentující dav lidí ve velikosti 5 kN/m^2 ve formě spojitého zatížení na a druhým pak bylo zatížení ve formě spojitého zatížení o délce jednoho metru představující zatížení ze zatěžovací zkoušky (nádrž s vodou) o váze 1 tuny (10 kN/m).

7.3.2 Desko-stěnový model

V tomto modelu byly vytvořeny všechny prvky lávky. Hlavní nosníky, příčníky a podélníky byly vytvořeny pomocí stěnových prvků, mostiny pak pomocí deskových prvků. Příčníky byly připojeny k hlavním nosníkům pomocí vložených kloubů. Zajištění spolupůsobení příčníků s podélníky bylo realizováno pomocí průniku ploch. Podpory byly vytvořeny stejně jako v prutovém modelu. (obr. č. 116)

Na tomto modelu byla také provedena dynamická analýza konstrukce.



Obr. č. 117: Desko-stěnový model konstrukce

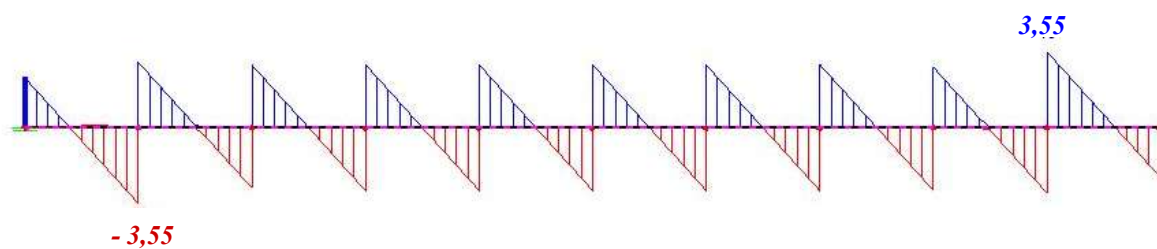
Zatížení modelu

Byla vytvořena zatížení jak pro srovnání numerického výpočtu, tak pro srovnání se statickou zatěžovací zkouškou. Prvním z nich bylo zatížení reprezentující dav lidí ve velikosti 5 kN/m^2 ve formě spojitého zatížení na mostinách a druhým pak bylo zatížení ve formě bodové síly představující zatížení ze zatěžovací zkoušky (nádrž s vodou) o váze 1 tuny (10 kN). Zjednodušení na bodové zatížení bylo možné z důvodu, že účel tohoto zatížení byl pouze pro porovnání výsledků účinků na hlavních nosnících.

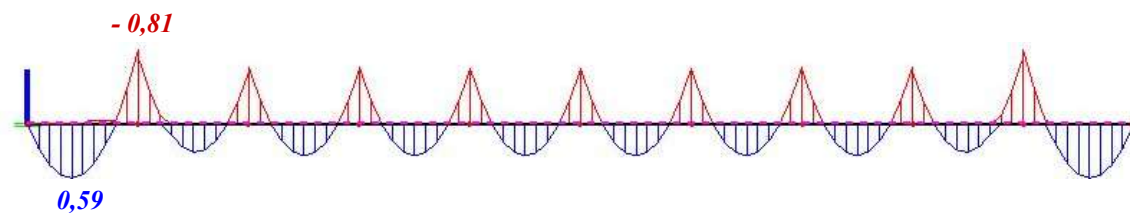
7.4 Srovnání numerického výpočtu a MKP modelů

Součástí je také porovnání numericky vypočítaných hodnot vnitřních sil a hodnot vnitřních sil z prutového modelu, a to pro podélník, příčník a hlavní nosník. Toto srovnání proběhlo kvůli ověření napočítaných hodnot, protože je předpokládáno, že model bude generovat přesnější výsledky.

Podélník



Obr. č. 118: Posouvající síly na prutového modelu

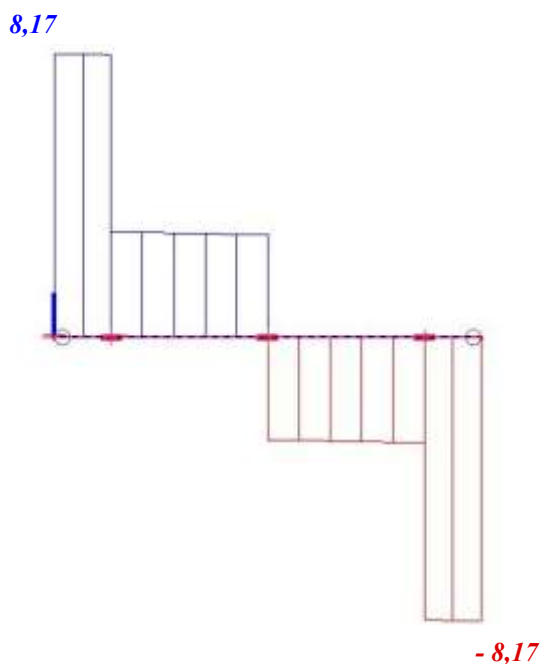


Obr. č. 119: Ohybové momenty na prutovém modelu

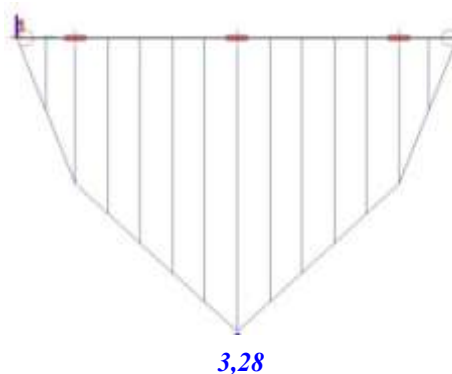
Pomocí numerického výpočtu byly příslušné posouvající síly a ohybové momenty stanoveny takto: $V_{z,\max} = 3,98 \text{ kN}$, $M_{\max,\text{pole}} = 0,76 \text{ kNm}$ a $M_{\max,\text{podpora}} = 1,04 \text{ kNm}$.

Dá se tedy říci, že výpočet vnitřních sil pomocí ručního numerického výpočtu se liší v řádu několika desetin kN. Výpočet mezního stavu únosnosti bude tedy také poměrně přesný, i když bude vykazovat o něco větší využití prvků, než bude na reálné konstrukci. Tato skutečnost však přispívá k bezpečné straně výpočtu.

Příčník



Obr. č. 120: Posouvající síly příčniku z prutového modelu



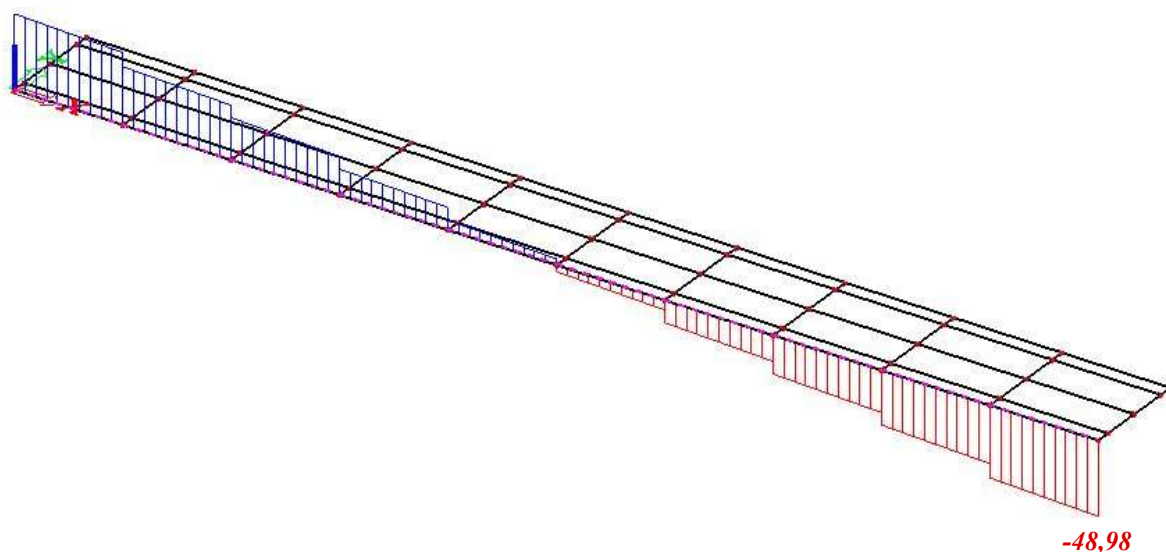
Obr. č. 121: Ohybové momenty příčniku z prutového modelu

Pomocí numerického výpočtu byly příslušné posouvající síly a ohybové momenty stanoveny takto: $V_{z,\max} = 9,15 \text{ kN}$, $M_{\max} = 3,44 \text{ kNm}$.

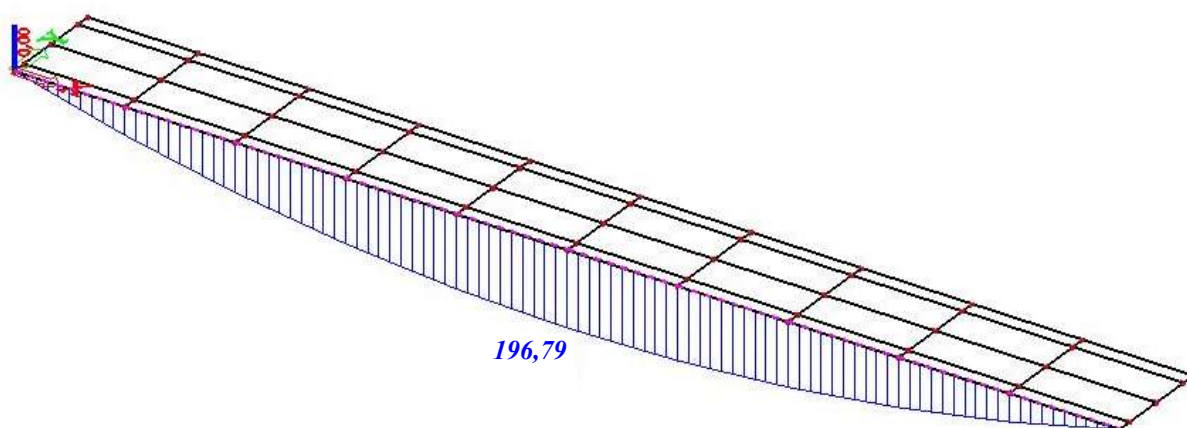
Opět můžeme konstatovat, že odchylky vypočtených vnitřních sil pomocí ručního numerického výpočtu jsou relativně malé. Výpočet mezního stavu únosnosti bude tedy také poměrně přesný, i když bude vykazovat o něco větší využití prvků, než bude na reálné konstrukci. Tato skutečnost však přispívá k bezpečné straně výpočtu.

Hlavní nosník

48,98



Obr. č. 122: Posouvající síly hlavního nosníku z prutového modelu



Obr. č. 123: Ohybové momenty hlavního nosníku z prutového modelu

Pomocí numerického výpočtu byly příslušné posouvající síly a ohybové momenty stanoveny takto: $V_{z,max} = 57,08 \text{ kN}$, $M_{max} = 215,41 \text{ kNm}$.

V tomto výpočtu můžeme vidět rozdíl v řádu několika kN. Tento rozdíl vzniká nastřádáním jednotlivých nuancí výpočtu, které vznikají idealizací konstrukce. Tento rozdíl však nemá na únosnost a spolehlivost konstrukce negativní vliv, jelikož větší dimenzační veličiny ve výpočtu, znamenají větší rezervu v únosnosti na reálné konstrukci.

7.5 Zatěžovací zkoušky

Na sledované lávce byla provedena statická a dynamická zatěžovací zkouška. Jako podklad pro vyhodnocení statické zkoušky byl vypracován zjednodušený statický posudek pro hlavní nosník a výpočet pro určení vlastní frekvence kmitání lávky (*viz příloha C2 - Zjednodušený posudek pro statickou a dynamickou zkoušku*). Dále byly výsledky porovnány s počítačovými modely (prutový a desko-stěnový).

7.5.1 Statická zatěžovací zkouška

7.5.1.1 Použité přístroje

K měření svislého průhybu uprostřed nosníku bylo použito potenciometrického snímače dráhy s neodpruženou měřicí tyčí v rozsahu 25 mm s označením AHLBORN FWA025TR. Hodnoty statických veličin byly zaznamenávány pomocí měřicí ústředny ALMEMO 2690-8A. Kromě svislého průhybu bylo dále zjišťováno napětí uprostřed spodní strany hlavního nosníku pomocí strunového tenzometru.

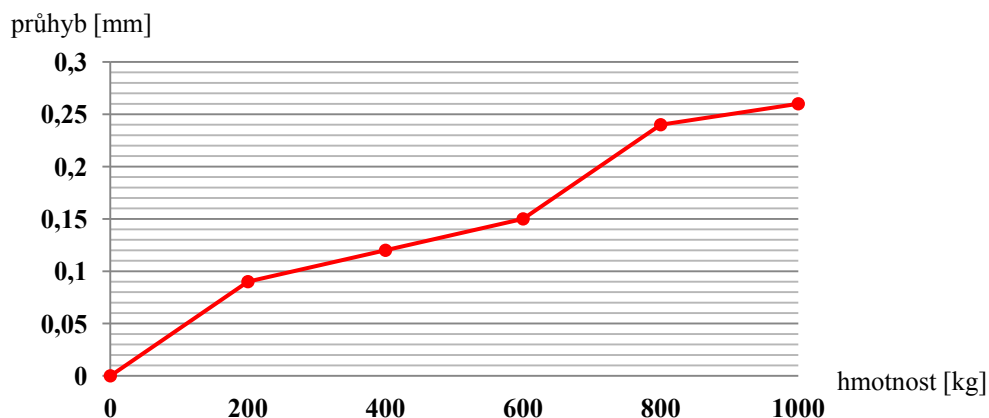
Strunový tenzometr pracuje na principu určování frekvence vlastních kmitů ocelové struny předepjaté mezi dvěma pevnými body. Vzdálenost těchto bodů je měrnou délkou tenzometru. Tento strunový tenzometr měl strunu krytou v trubce a hlavy uzpůsobené pro montáž na povrch objektů.

7.5.1.2 Zatížení pro statickou zkoušku

Zatížení bylo realizováno pomocí nádrže s vodou o rozměrech 1x1x1 m, který po naplnění vodou vážil 1 tunu. Větší zatížení nemohlo být použito vzhledem k úzkému průchozímu profilu lávky. Nádobu byla napouštěna postupně. Při tomto postupném zatěžování byly postupně měřeny hodnoty svislého průhybu.

7.5.1.3 Výsledky statické zkoušky

Naměřené hodnoty nárůstu průhybu ze zatěžování při statické zkoušce můžeme vidět na grafu č. 10. Maximální hodnota průhybu dosáhla na konstrukci hodnoty 0,26 mm.



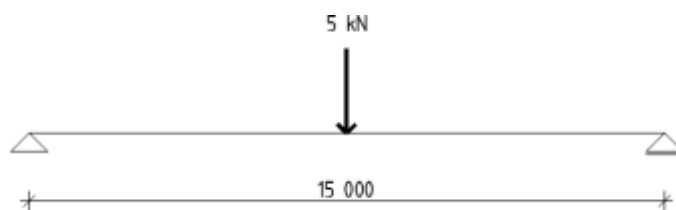
Graf č. 10: Nárůst průhybu při zatěžovací zkoušce

Dále bylo během statické zkoušky zjišťováno napětí na spodní straně hlavního nosníku, a to uprostřed rozpětí. Toto napětí bylo měřeno pomocí strunového tenzometru. Naměřené napětí mělo hodnotu 319,824 kPa.

7.5.2.4 Srovnání vypočtených a naměřených výsledků

Numerický výpočet

Pro zjištění průhybu výpočtem bylo použito statické schéma prostého nosníku, s rozpětím $l = 15$ metrů a s osamělým břemenem o velikosti $F = 5$ kN. Tato hodnota byla získána rozdělením zatížení celkového zatížení 1 tuny (10kN) na dva nosníky, tedy na dvě části.



Obr. č. 124: Statické schéma výpočtu pro statickou zkoušku

Pro výpočet průhybu bylo využito vztahu pro průhyb prostého nosníku osamělou silou (20).

$$\omega = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (20)$$

Modul pružnosti pro lepené lamelové dřevo třídy GL24h byla použita hodnota dle normy [74], $E_{0,05} = 9\,600$ MPa. Moment setrvačnosti průřezu hlavního nosníku byl spočítán dle vztahu (21).

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (21)$$

Dosazením šířky nosníku $b = 0,2$ m a výšky nosníku $h = 1,5$ m je $I = 0,05625$ m⁴. Výsledný průhyb pak měl hodnotu $\omega = 0,651$ mm. Tento průhyb je více než 2,5krát větší, než průhyb naměřený.

Dále bylo spočítáno napětí vyvolané zkušebním zatížením. Pomocí numerického výpočtu byla hodnota napětí určena z ohybového momentu na prostém nosníku v jeho polovině, tedy z maximálního ohybového momentu.

Maximální ohybový moment nosníku ($l = 15$ m) zatížený osamělým břemenem uprostřed se vypočítá dle vzorce (22). Nejprve však bylo nutné hodnota síly $F_k = 5$ kN přenásobit součinitelem spolehlivosti $\gamma_q = 1,5$. Návrhová velikost břemene bude tedy $F_d = 7,5$ kN.

$$M_{Ed} = \frac{F_d \cdot l}{4} \quad (22)$$

Výsledný ohybový moment měl hodnotu 28,125 kNm. Pro výpočet napětí je nutno využít také modulu průřezu v ohybu W , který je vypočítán pomocí vztahu (23).

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (23)$$

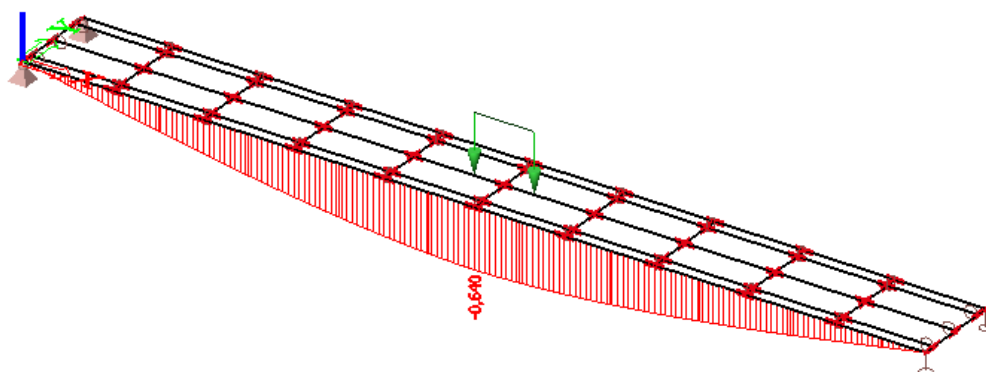
Konečné napětí na nosníku se pak spočítá řešením (24).

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} \quad (24)$$

Byla vypočítána hodnota napětí $\sigma_{m,y,d} = 0,375$ MPa, což odpovídá 375 kPa. Odchylka od naměřených hodnot napětí představuje necelých 18%.

Prutový model

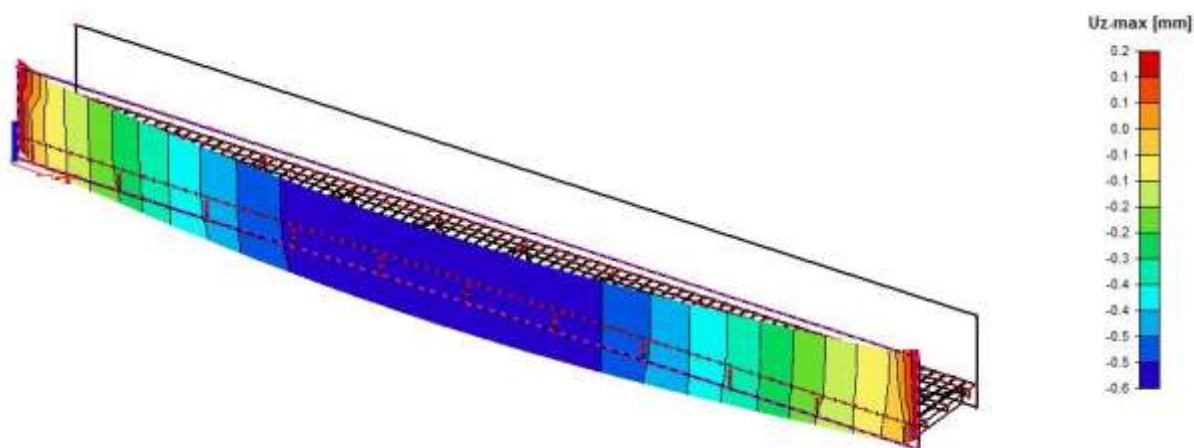
Pomocí prutového modelu, jehož prostřední podélník byl zatížen spojitým zatížením o délce 1 m a hodnotě 10 kN/m, bylo dosaženo průhybu 0,64 mm (viz obr. č. 115). Tato hodnota je zhruba 2,5krát více než reálný průhyb.



Obr. č. 125: Průhyb na prutovém modelu pro porovnání se statickou zatěžovací zkouškou

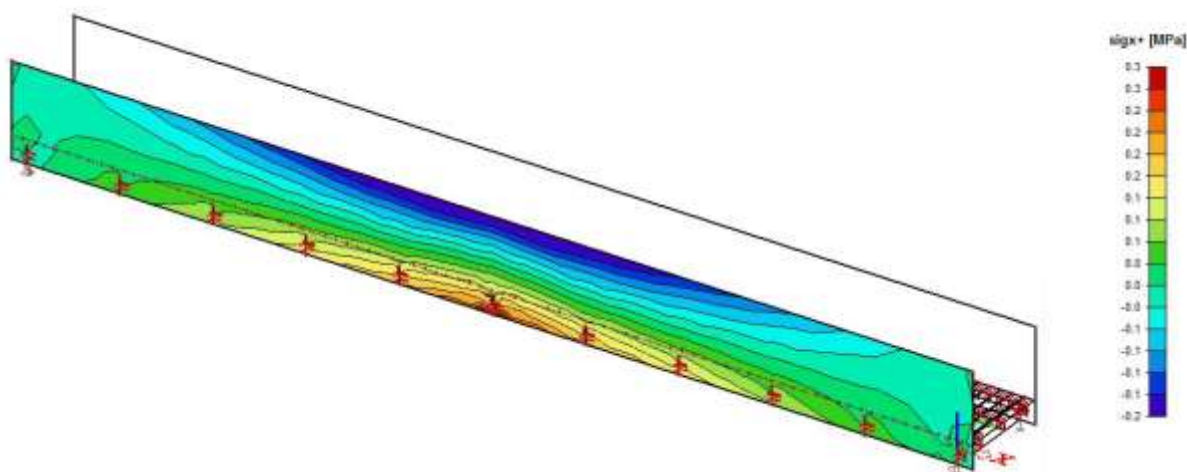
Plošný model

Pomocí plošného modelu, který byl ve svém středu zatížen pomocí osamělého břemene o velikosti 10 kN, bylo dosaženo průhybu $w = 0,6$ mm (viz obr. č. 116). Tato hodnota je 2,5krát větší, než naměřený průhyb na konstrukci.



Obr. č. 126: Průhyb na plošném modelu pro porovnání se statickou zatěžovací zkouškou

Při zjišťování tohoto napětí na plošném modelu byla výsledná hodnota přibližně odečtena ze stupnice jako 0,3 MPa (viz obr. č. 126), což odpovídá 300 kPa. Tato hodnota přibližně odpovídá naměřeným hodnotám.



Obr. č. 127: Napětí na hlavním nosníku desko-stěnového modelu

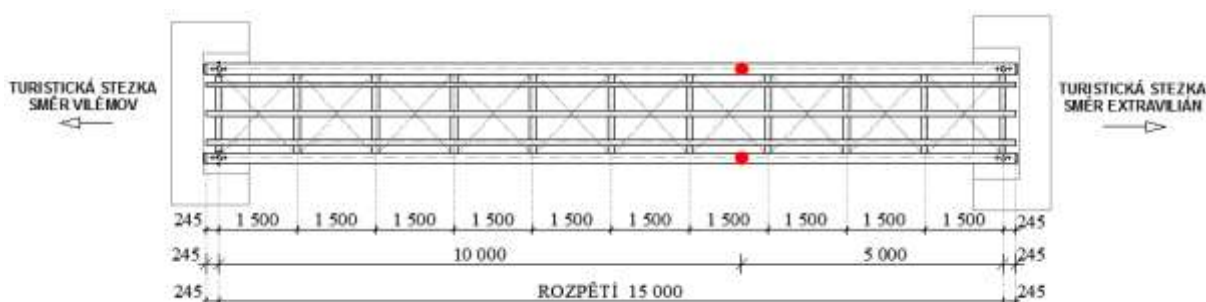
Při srovnání výsledků bylo zjištěno, že hodnoty průhybu ručního výpočtu, prutového modelu a plošného modelu jsou přibližně stejné. Dalo by se tedy očekávat, že průhyb naměřený během statické zkoušky se bude přibližovat výpočtům. Rozdíl mezi teoretickými výpočty a naměřenou hodnotou je způsoben idealizací konstrukce, která spočívá v tom, že byl hlavní nosník počítán jako prostý. Ve skutečnosti je však na reálné konstrukce provedeno nadvýšení 180 mm. Působení prostého nosníku bylo pozměněno. Působení reálné konstrukce je odolnější vůči působení zatížení, nedojde tedy k tak velkým deformacím. V případě, že by reálná konstrukce byla realizována jako prostý nosník, je pravděpodobné, že by naměřené hodnoty deformace přibližně odpovídaly vypočteným hodnotám.

Hodnoty napětí numerického výpočtu a desko-stěnového modelu byly v relativně malých odchylkách od naměřeného napětí, přičemž výpočetní model byl přesnější, což je dáno jeho menší idealizací konstrukce.

7.5.2 Dynamická zkouška

7.5.2.1 Použité přístroje

Pro měření dynamických veličin bylo užito seismických snímačů zrychlení. Záznam byl prováděn pomocí ústředny SPIDER 8 se vzorkovací frekvencí 50 Hz tak, aby byly získány požadované hodnoty. Snímače byly umístěny v 1/3 rozpětí lávky (viz. obr. č. 127).



Obr. č. 128: Umístění seismických snímačů zrychlení

7.5.2.2 Zatížení pro dynamickou zkoušku

Pro buzení kmitání bylo využito zatížení, které se předpokládá pro běžný provoz, a to zatížení jednou osobou a skupinou osob. Při zatížení jednou osobou byly měřeny tyto zatěžovací stavy:

- chůze frekvencí cca 1 Hz
- chůze frekvencí cca 2 Hz
- klus

Při zatížení skupinou osob jdoucích vedle sebe byly měřeny tyto zatěžovací stavy:

- chůze frekvencí cca 1 Hz
- chůze frekvencí cca 2 Hz
- klus
- vyvození rázu v polovině rozpětí

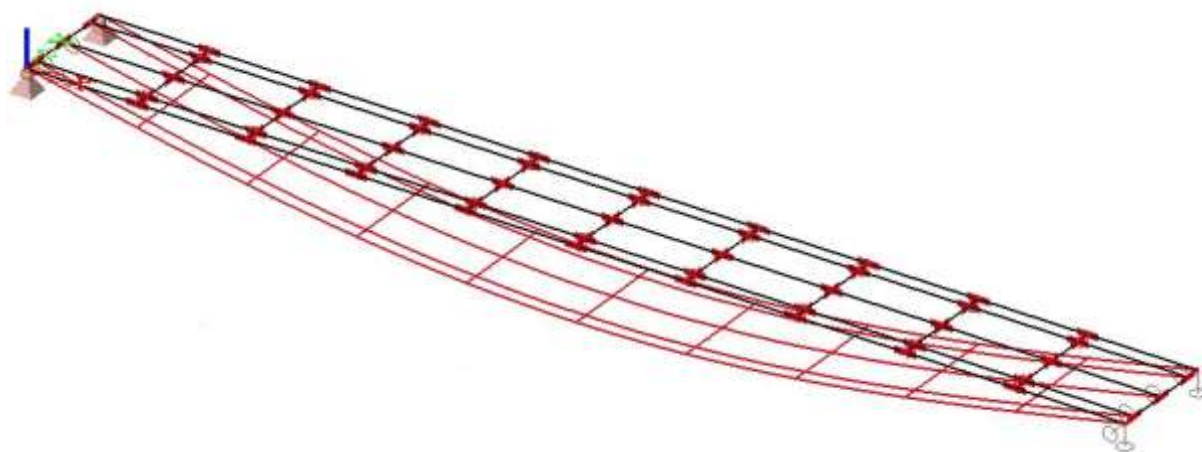
Všechny zmíněné zatěžovací stavy byly provedeny v obou směrech lávky.

7.5.2.3 Výsledky dynamické zkoušky

Hlavním cílem dynamické zkoušky bylo zjištění vlastních frekvencí lávky. Tyto frekvence byly vyhodnocovány z naměřených dat jednotlivých buzení. Jako dominantní byly vyhodnoceny frekvence 12 Hz a 38 Hz. Ostatní naměřené frekvence byly vyhodnoceny jako nevýznamné pro fungování konstrukce.

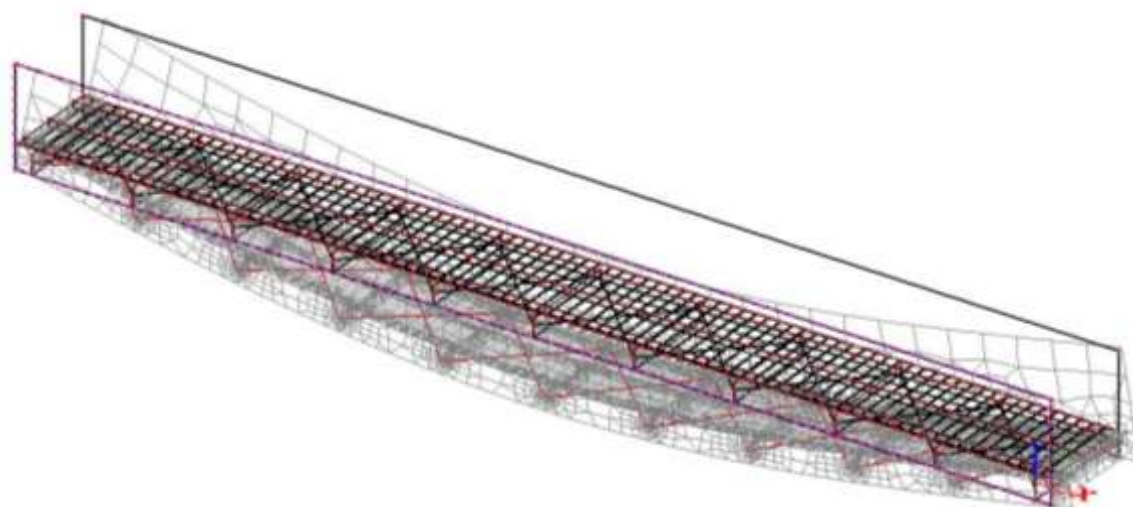
7.5.2.4 Srovnání výsledků dynamické zkoušky

Na prutovém modelu bylo zjištěno dominantní svislé kmitání s frekvencí 14,75 Hz (obr. č. xx). Odchylka od naměřených hodnot je necelých 23%. Tento poměrně velký rozdíl je pravděpodobně způsoben idealizací konstrukce.



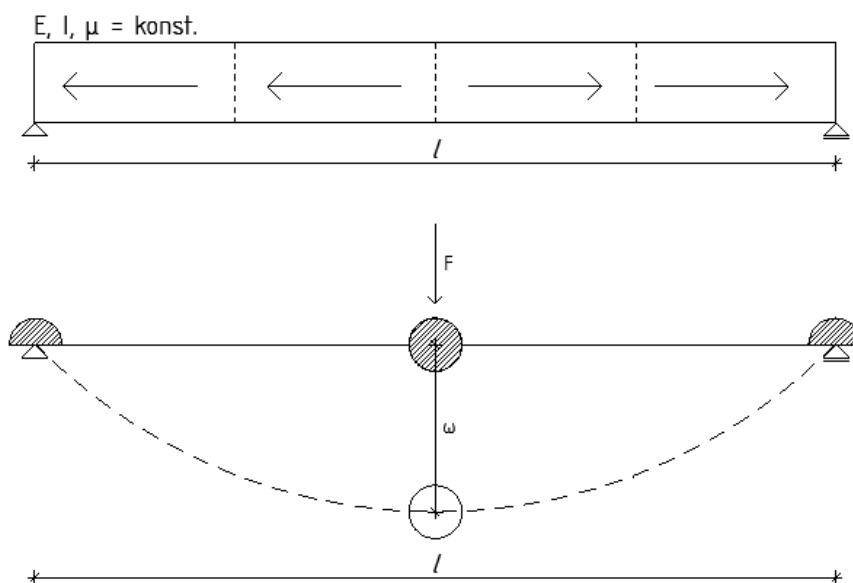
Obr. č. 129: Dominantní svislé kmitání prutového modelu

Na desko-stěnovém modelu bylo zjištěno dominantní svislé kmitání s frekvencí 14,39 Hz (obr. č. 129). Odchylka od naměřených hodnot je necelých 20%. Tento také poměrně velký rozdíl je pravděpodobně způsoben idealizací konstrukce.



Obr. č. 130: Dominantní svislé kmitání plošného modelu

Dále byla spočítána vlastní frekvence lávky pomocí výpočtu, který byl postaven na principu dynamického výpočtu, zjištěném v literatuře [20]. Podrobný výpočet viz příloha C2 - *Zjednodušený posudek pro statickou a dynamiku zkoušku.*



Obr. č. 131: Princip výpočtu kmitání

Pro výpočet byly potřebné tyto veličiny:

- modul pružnosti lepeného lamelového dřeva $E_{0,05} = 9\,600\text{ MPa}$
- moment setrvačnosti složeného průřezu $I_y = 0,116786\text{ m}^4$ (počítán k těžišti složeného průřezu lávky)
- hmotnost mostu na jednotku délky $\mu = 286,73\text{ kg}$
- celková hmotnost mostu $M = 4\,441,41\text{ kg}$

Dále byla spočítána hmotnost pro výpočet kmitání m (k).

$$m = \frac{M}{2} \quad (k)$$

Tato hmotnost je $m = 2\,150,47\text{ kg}$. Dosazením vztahu pro průhyb (m) do vzorce pro tuhost (l)

$$k = \frac{F}{\omega} \quad (l)$$

byla následnou úpravou(jj) zjištěna tuhost konstrukce (lll), aniž bychom museli znát hodnotu zatížení F .

$$k = \frac{F}{\frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I}} \quad (jj)$$

$$k = \frac{48 \cdot E \cdot I}{l^3} \quad (III)$$

Výsledná hodnota tuhosti konstrukce je $k = 14,48 \text{ MN/m}$. Pomocí tuhosti pak mohla být vypočítána vlastní kruhová frekvence (pp).

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (pp)$$

Hodnota kruhové frekvence je $\omega_0 = 80,75 \text{ rad/s}$. Posledním krokem výpočtu bylo stanovení vlastní frekvence kmitání konstrukce (kk).

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2 \cdot \pi} \quad (III)$$

Vypočítaná frekvence má hodnotu $12,85 \text{ Hz}$. Odchylka tohoto výpočtu je $7,1\%$ od reálně naměřené vlastní frekvence lávky. Bylo ovšem zjištěno, že musí být použito momentu setrvačnosti složeného průřezu pouze z hlavních nosníků. V případě použití momentu setrvačnosti celého průřezu, se nepodařilo vypočítat správné hodnoty vlastní frekvence. Tato skutečnost může být způsobena tím, že na reálné konstrukci nelze vytvořit natolik tuhé spoje, že by vznikl jeden celistvý profil.

8 Závěr

Dřevo patří k nejstarším používaným materiálům pro konstrukce mostů a lávek. Jedná se také o ekologické a v současnosti i ekonomicky výhodné stavby, u kterých nastal v ČR v posledních 15 letech velký rozmach, a to především díky jejich výhodným vlastnostem.

S odstupem času lze již vidět, jak dřevěné mostní konstrukce fungují a jaké jsou jejich potíže. Při prováděném monitoringu těchto konstrukcí po celé ČR bylo zjištěno, že životnost těchto nových konstrukcí je úzce spjata i se zdánlivými detaily, tyto však většinou rozhodují o životnosti. Mezi důležité faktory patří především co nejrychlejší odvod vody z povrchu dřeva a zabránění vtékání a shromažďování vody v prasklinách.

Jedním z cílů této práce bylo nalezení optimálního izolačního systému pro dřevěné konstrukce mostů a lávek, který by zajišťoval právě rychlý a spolehlivý odvod vody. Díky provedenému výzkumu byl nalezen a odzkoušen materiál POLYUREA, který vykazuje výborné vlastnosti ve všech sledovaných parametrech (izolace, soudržnost, pružnost, odolnost proti povětrnosti a UV záření). Tento materiál se ukázal jako vhodný právě pro zvyšování životnosti dřevěných mostů a lávek.

V rámci této práce byl proveden také výzkum zaměřený na sledování stávajícího stavu mostních konstrukcí. Během tohoto průzkumu bylo sledováno mnoho opakujících se chyb jak v samotných návrzích konstrukce, tak i při jejich údržbě. Tyto faktory ve většině případů výrazně snižují životnost těchto staveb.

Pro správnou funkci dřevěných lávek je vhodný statický a dynamický návrh a následné ověření výpočtových parametrů na reálných konstrukcích. Pro tyto účely byla vybrána dřevěná lávka v obci Velký Šenov. Na této konstrukci byl proveden základní statický a dynamický výpočet. Před uvedením stavby do provozu byla provedena diagnostika konstrukce, kde byly ověřovány statické a dynamické parametry, které byly následně ověřeny s výpočtovými daty. Pro tyto účely byl vytvořen program, který umožňuje rychlý a efektivní návrh a posouzení trámových mostů a lávek z LLD.

Na závěr této diplomové práce bych chtěla poznamenat, že její vypracování mi přineslo mnoho nových a zároveň cenných informací ohledně chování a vlastností dřeva jako stavebního materiálu. Práce mi umožnila pochopit mnoho souvislostí při návrhu dřevěných konstrukcí. Výzkum předcházející samotnému vypracování práce byl pro mne velice zajímavým a inspirativním. Tato práce mi pomohla určit směr, kterým bych se chtěla v profesním životě dále zabírat.

9 Seznam pramenů

9.1 Seznam informací

[1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační úřad, 2004

[2] ČSN EN 1991-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Praha: Český normalizační úřad, 2005

[3] ČSN EN 1995-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační úřad, 2007

[4] EN 1995-2. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 2: Mosty*. Praha: Český normalizační úřad, 2007

[5] ČSN EN 301. *Fenolická a aminová lepidla pro nosné dřevěné konstrukce - Klasifikace a technické požadavky*. Praha: Český normalizační úřad, 2014

[6] ČSN EN 408 + A1. *Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností*. Praha: Český normalizační úřad, 2013

[7] ČSN EN 975-1. *Řezivo - Vizuální třídění listnatého dřeva - Část 1: Dub a buk*. Praha: Český normalizační úřad, 2009

[8] ČSN EN 975-2. *Řezivo - Vizuální třídění listnatého dřeva - Část 2: Topoly*. Praha: Český normalizační úřad, 2004

[9] ČSN EN 1912. *Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti - Přiřazení vizuálních tříd a dřevin*. Praha: Český normalizační úřad, 2012

[10] ČSN EN 14080. *Dřevěné konstrukce - Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo - Požadavky*. Praha: Český normalizační úřad, 2013

[11] ČSN EN 14081-2+A. *Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo obdélníkového průřezu tříděné podle pevnosti - Část 2: Strojní třídění; doplňující požadavky na počáteční zkoušky typu*. Praha: Český normalizační úřad, 2013

[12] ČSN EN 14081-4. *Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo obdélníkového průřezu tříděné podle pevnosti - Část 4: Strojní třídění - Nastavovací hodnoty třídícího stroje pro systémy s kontrolou vztaženou na stroj*. Praha: Český normalizační úřad, 2009

- [13] ČSN 73 6200. *Mosty - Terminologie a třídění*. Praha: Český normalizační úřad, 2011
- [14] ČSN 73 6209. *Zatěžovací zkoušky mostů*. Praha: Český normalizační úřad, 1996
- [15] ČSN 73 2030. *Zatěžovací zkoušky mostů*. Praha: Český normalizační úřad, 1996
- [16] ČSN 73 2824-1. *Třídění dřeva podle pevnosti - Část 1: Jehličnaté řezivo*. Praha: Český normalizační úřad, 2015
- [17] JOSEF, Dušan. *Zajímavé české a slovenské dřevěné mosty a lávky*. 1. vyd. Brno: F.R.Z. agency s.r.o., 2015. 59 s. ISBN 978-80-87332-89-4
- [18] HEJÁTKO, P. - NOVÁK, P. - NOVÁK, R. - ZEMAN, J. *Dřevěné stavby*. 1. vyd. Praha: Akcent, 2012. 145 s. ISBN 978-80-7268-817-3
- [19] KOLÁŘ, Jan. *Dřevěné mosty kryté v republice československé*. Praha: Masarykova akademie práce, 1926. 150 s.
- [20] KUCHAROVÁ, D. - MELCER, J. *Dynamika stavebných konstrukcí*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2000. 199 s. ISBN 80-71000-779-X
- [21] POLÁK, Michal. *Experimentální ověřování konstrukcí 10*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. 155 s. ISBN 80-01-02032-0
- [22] REINPRECHT, Ladislav. *Ochrana dřeva*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6
- [23] GANDELOVÁ, L. - HORÁČEK, P. - ŠLEZINGEROVÁ, J. *Nauka o dřevě*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002. 176 s.
- [24] KARMAZÍNOVÁ, M. - SÝKORA, K. - ŠMAK, M. *Konstrukce a dopravní stavby*. Brno: Vysoké učení technické. 42 s.
- [25] KOLEKTIV AUTORŮ. *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2014*. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 2014. 196 s.

- [26] KOLEKTIV AUTORŮ. *Průručka 1: Dřevěné konstrukce. 1. vyd. 2008. 242 s.*
- [27] KOLEKTIV AUTORŮ. *Průručka 2: Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5. 1. vyd. 2008. 130 s.*
- [28] SVOBODA, L. a kol. *Stavební hmoty. 3. vyd. Praha: 2013. 950 s. ISBN 978-80-260-4972-2*
- [29] LOKAJ, A. - VAVRUŠOVÁ, K. *Dřevo a materiály na jeho bázi ve stavebnictví. In Stavební partner. 2012. 11 s.*
- [30] Technický list: Nástřikový izolační systém Polyurea GME. Ostrava: GME, s.r.o., 2 s.
- [31] HAVELKA, Petr. *Zkouška odolnosti spoje při lepení tenkých materiálů. Brno, 2009. 62 s.*
Bakalářská práce na Agronomické fakultě Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně.
Vedoucí práce bakalářské práce Michal Černý.
- [32] *Přírodní konstrukční a stavební materiál* [online]. [cit. 2005-09-02].
URL: <<http://www.enviweb.cz/printclanek/obecne/55003/>>
- [33] *Minulost a současnost staveb ze dřeva* [online]. [cit. 2015-11-23].
URL: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/minulost-a-soucasnost-staveb-ze-dreva_N5385>
- [34] *Materiály na bázi dřeva* [online]. [cit. 2002-06]. URL: <<http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-81-2002/lesnicka-prace-c-6-02/materialy-na-bazi-dreva>>
- [35] *Lesnictví* [online]. [cit. 2015-09-07]. URL: <<http://eagri.cz/public/web/mze/lesy/lesnictvi/>>
- [36] *Angloamerická měrná soustava* [online]. [cit. 2015-09-26].
URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Angloamerick%C3%A1_m%C4%9Brn%C3%A1_soustava>
- [37] *Dřevěný věšadlový most u Pekla nad Zdobnicí.* [online]. [cit. neuvedeno].
URL: <<http://www.turistika.cz/mista/dreveny-vesadlovy-most-u-pekla-nad-zdobnici>>
- [38] *Dřevěné konstrukce: Přednáška č. 4.* [online]. [cit. neuvedeno].
URL: <http://fast10.vsb.cz/odk/prednasdk/ODPK_AL_04.pdf>
- [39] *Melamin* [online]. [cit. neuvedeno].
URL: <<http://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/92285.aspx>>

[40] *Konstrukční materiály: Kapitola 31 - Chemické látky používané pro výrobu* [online]. [cit. 2012-09-30]. URL: <<http://www.ssto-havirov.cz/katalog-obrazku/clanek-172/1858-vy-52-inovace-5215-31.pdf>>

[41] *Dřevěné konstrukce* [online]. [cit. neuvedeno].
URL: <<http://mech.fd.cvut.cz/members/micka/materialy/Drevo%20prezentace.pdf>>

[42] *Holzleimbau – eine Erfolgsgeschichte* [online]. [cit. 2003].
URL: <http://www.otto-hetzer.ch/>

[43] *Hetzerovy lepené konstrukce v Čechách* [online]. [cit. 1998-09].
URL: <http://www.jandacek.cz/download/hetzerovy_lepene_kce.pdf>

[44] *Techlonologie lepeného konstrukčního dřeva pro nosné účely* [online]. [cit. neuvedeno]. URL: <<http://www.holz.cz/cz/aktuality/Aktuality/Detail/id-3/index.html>>

[45] *Rozšíření plzeňské Techmanie si vyžádalo i proměnu části areálu Škodových závodů* [online]. [cit. 2013-10-03]. URL: <http://www.rozhlas.cz/zpravy/regiony/_zprava/1264390>

[46] *Zjišťování vlastností dřeva dynamickými metodami* [online]. [cit. 2002-05-01].
URL: <<http://www.agris.cz/clanek/115503>>

[47] *Třídění a návrhové charakteristiky konstrukčního dřeva* [online]. [cit. 2014-06-16].
URL: <<http://stavba.tzb-info.cz/drevene-a-ocelove-konstrukce/11353-trideni-a-navrhove-charakteristiky-konstrukcniho-dreva>>

[48] *Specifikace kamionů* [online]. [cit. 2012].
URL: <http://www.doprava.vpraxi.cz/specifikace_kamionu.html>

[49] *Lepené lamelové dřevo* [online]. [cit. neuvedeno].
URL: <<http://www.taros-nova.cz/lepene-lamelove-drevo-drevene-konstrukce>>

[50] *Principy fyzikální ochrany dřeva* [online]. [cit. neuvedeno].
URL: <http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/5.pdf>

[51] *Chemická ochrana dřeva* [online]. [cit. 2008-08-28].

URL: <<http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyroby/lepidla-naterytmely/chemicka-ochrana-dreva>>

[52] *Polyurea* [online]. [cit. neuvedeno]. URL: <<http://www.gmenet.cz/cz/polyurea>>

[53] *Dřevokazné houby* [online]. [cit. 2015]. URL: <<http://ohoubach.blogspot.cz/>>

[54] *Škůdci* [online]. [cit. neuvedeno]. URL: <www.skudci.com>

[55] *Encyklopedie škůdců - Dřevokazní škůdci* [online]. [cit. neuvedeno].

URL: <<http://www.pest-control.cz/encyklopedie-skudcu/category/drevokazni-skudci>>

[56] *Atlas hub* [online]. [cit. neuvedeno].

URL: <<http://atlashub.webz.cz/>>

[57] *Likvidace dřevokazných hub* [online]. [cit. neuvedeno].

URL: <<http://www.cervodes.eu/inpage/drevokazne-houby/>>

[58] ŠIMŮNKOVÁ, E. - KUČEROVÁ, I. *Dřevo*. 2.vyd. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, 2008. 127s. ISBN 978-80-86657-10-3

[59] ČSN 49 0600. *Ochrana dřeva - Základní ustanovení - Ochrana nátěrovými látkami*.

Praha: Český normalizační úřad, 1998.

[60] *Chemická ochrana dřeva* [online]. [cit. neuvedeno]

URL: <<http://www.cervodes.eu/inpage/chemicka-ochrana-dreva/>>

[61] ČSN 49 0600-1. *Ochrana dřeva - Základní ustanovení - Část 1: Chemická ochrana*.

Praha: Český normalizační úřad, 1998.

[62] SMĚRNICI RADY 76/769/EHS. *O sblížení právních a správních předpisů týkajících se omezení uvádění na trh a používání některých nebezpečných látek a přípravků*. 1976

[63] *Ochrana dřeva nátěrovými systémy* [online]. [cit. neuvedeno]

URL: <http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/10.pdf>

[64] *Technické pomůcky* [online]. [cit. neuvedeno]

URL:<<http://www.protesis.cz/parser/go/4c7a692f314e32397039544e6470546839357275706154777a7a2f7169454242414e6846676549714732383d>>

[65] *Moderní dřevostavby nejsou novinkou. Slaví 40 let.* [online]. [cit. neuvedeno]

URL:<<http://www.nazeleno.cz/mobile/stavba/drevostavby/moderni-drevostavby-nejsou-novinkou-slavi-40-let.aspx>>

[66] *Lexikon vad.* [online]. [cit. neuvedeno]

URL: < http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_vad>

[66] SVOBODA, L. *Stavební hmoty*. 3.vyd. Praha: Jaga Group, 2013. 950s, ISBN 978-80-260-4972-2

[67] *Trvanlivost dřeva a principy jeho ochrany* [online]. [02-12-2008]

URL: <<http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/drevostavby/trvanlivost-dreva-a-principy-jeho-ochrany>>

[68] *Dřevěný most z roku 1718 ve vesničce Černvín.* [online]. [20-06-2006]

URL: <<http://www.jhl.cz/060620/slides/060620c071.html>>

[69] *Kostel sv. Bartoloměje.* [online]. [05-12-2014]

URL: < http://www.soupispacek.com/okres_chrudim/foto/koci/koci_kostel.htm>

[70] *Rechle v Lenoře zase voní dřevem. Oprava lávky se protáhla i prodražila.* [online]. [cit.

15-03-2015], URL: <http://budejovice.idnes.cz/oprava-rechli-v-lenore-067-/budejovice-zpravy.aspx?c=A150305_085807_budejovice-zpravy_khr>

[71] *Prudká* [online]. [cit. neuvedeno], URL: <<http://atlas-cs.logis.cz/objekty/PQ/prudka.html>>

[72] *Řeka Jizera* [online]. [cit. neuvedeno], URL: <<http://www.jablonec.com/dr-cs/4721-reka-jizera.html>>

[73] HOŘEJŠÍ, J. - ŠAFKA, J. *Statické tabulky*. Praha: SNTL, 1987.

- [74] ČSN EN 338. *Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti*. Praha: Český normalizační úřad, 2010.
- [75] *Reference* [online] .[cit. neuvedeno], URL: <<http://www.cb-cz.eu/reference.html>>
- [76] *Tesařík krovový* [online] .[cit. neuvedeno], URL: <<http://www.biolib.cz/cz/image/id18299/>>
- [77] *Tesařík zavalitý* [online] .[cit. neuvedeno], URL: <<http://www.chovzvirat.cz/zvire/1210-tesarik-zavality/>>
- [78] *Červotoč kostkovaný* [online] .[cit. neuvedeno], URL: <http://cit.vfu.cz/vet-ekologie/rozdeleni_skudcu/drevokazny_hmyz/cervotoc_kostkovany.htm>
- [79] *Trámovka jedlová* [online] .[cit. neuvedeno], URL: <<http://www.myko.cz/myko-atlas/Gloeophyllum-abietinum/>>
- [80] *Trámovka plotní* [online] .[cit. neuvedeno], URL: <<http://www.skudci.com/tramovka-plotni>>
- [81] *Koniofora sklepni* [online] .[cit. neuvedeno], URL: <<http://www.pest-control.cz/encyklopedie-skudcu/detail/koniofora-sklepni>>
- [82] *Most Černvír*. [online] .[cit. neuvedeno], URL: <<http://www.travelguide.cz/cz/turistika/muzea-a-technicke-pamatky/most-cernvir>>
- [93] *U lesního hrádku se zřítíla dřevěná lávka i s lidmi*. [online] .[08-07-2010], URL: <<http://www.hzshk.cz/cs/uvodni-strana/aktuality/clanek-1417/>>
- [84] *Outkovka pestrá* [online] .[cit. neuvedeno], URL: <<http://www.houbareni.cz/disc.php?start=868>>
- [85] *Most Švařec* [online] .[cit. neuvedeno], URL: <<http://www.dedictvivysociny.cz/kultura/pamatky-50/technicke-2/?id=631>>
- [86] *Pevník chlupatý* [online] .[cit. neuvedeno], URL:<<http://ohoubach.blogspot.cz/2011/08/index.html>>

- [87] *Dřevěný věšadlový most v Pekle nad Zdobnicí*. [online] .[cit. neuvedeno],
URL: <<http://www.turistika.cz/mista/dreveny-vesadlovy-most-u-pekla-nad-zdobnici>>
- [88] *Bez názvu* [online] .[cit. neuvedeno],
URL: <<http://old.semily.cz/customers/semily/storage/seznam-vylety/images/1409256884.jpg>>
- [89] *Mostní dílo roku 2010*. [online] .[05-04-2012], URL: <<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/mostni-dilo-roku-2010/>>
- [90] *Lávka Rádlo* [online] .[cit. neuvedeno], URL: < <http://www.atelierdavid.cz/cs/projekt/2006-lavka-radlo/> >
- [91] *Svatebčané žádají milionové odškodné za pád z prohnílé lávky hradu* [online] .[26-03-2012]
URL: < http://zpravy.idnes.cz/zriceni-svatebcanu-na-lavce-hradku-aichelburg-u-soudu-v-trutnove-phn-/krimi.aspx?c=A120326_145759_hradec-zpravy_kvi >
- [92] *Mapy* [online] .[cit. neuvedeno],
URL: <<http://mapy.cz/zakladni?x=14.3613571&y=50.9578862&z=13&source=muni&id=1707> >
- [93] *Obnovená lávka na naučné stezce*. [online] .[cit. neuvedeno],
URL: <http://www.stachelberg.cz/novinky/obnovena-lavka-na-naucne-stezce-po-opevneni-_32 >
- [94] *Penzion Skalka* [online] .[cit. neuvedeno],
URL: <http://www.penzionzahory-skalka.cz/tipy_na_vylet.html >
- [95] *Mosty a inženýrské konstrukce* [online] .[cit. neuvedeno],
URL: <<http://www.vav-ova.cz/mosty.htm> >
- [96] *Lávka v zámeckém parku* [online] .[10-02-2013],
URL: <<http://www.archiweb.cz/buildings.php?type=33&action=show&id=1608> >
- [97] *Využití dřeva jako suroviny v dřevařské výrobě* [online] .[cit. neuvedeno],
URL: <<http://drevostavebniportal-popularizace.msdk.cz/zajimavosti-ze-sveta-dreva/vyuziti-dreva/> >

9.2 Seznam obrázků

- Obr. č. 1: Lávka o jednom poli (prostý nosník) [autorka DP - Microsoft Publisher2007]
- Obr. č. 2: Lávka oblouková s horní mostovkou [autorka DP - Microsoft Publisher2007]
- Obr. č. 3: Lávka oblouková s mezilehlou mostovkou [autorka DP - Microsoft Publisher2007]
- Obr. č. 4: Lávka oblouková s dolní mostovkou [autorka DP - Microsoft Publisher2007]
- Obr. č. 5: Příhradová lávka [autorka DP - Microsoft Publisher2007]
- Obr. č. 6: Vzpěradlová lávka [autorka DP - Microsoft Publisher2007]
- Obr. č. 7: Lávka věšadlová [autorka DP - Microsoft Publisher2007]
- Obr. č. 8: Lávka visutá [autorka DP - Microsoft Publisher2007]
- Obr. č. 9: Lávka zavěšená [autorka DP - Microsoft Publisher2007]
- Obr. č. 10: Části mostu [24]
- Obr. č. 11: Řezy kmenem stromu [autorka DP - Microsoft Publisher2007, upraveno dle [58]]
- Obr. č. 12: Anatomické směry dřeva [autorka DP - Microsoft Publisher2007, upraveno dle [58]]
- Obr. č. 133: Stavba buňky [autorka DP - Microsoft Publisher2007, upraveno dle [38]]
- Obr. č. 14: Makroskopická stavba dřeva [autorka DP - Microsoft Publisher2007, upraveno dle [97]]
- Obr. č. 15: Sesychání řeziva [autorka DP - Microsoft Publisher2007, upraveno dle [58]]
- Obr. č. 16: Trámovka jedlová [79]
- Obr. č. 17: Trámovka plotní [80]
- Obr. č. 18: Koniofora sklepní [81]
- Obr. č. 19: Outkovka pestrá [84]
- Obr. č. 20: Pevník chlupatý [86]
- Obr. č. 141: Tesařík krovový [76]
- Obr. č. 22: Tesařík zavalitý [77]
- Obr. č. 215: Červotoč kostkovaný [78]
- Obr. č. 216: Rozmístění zubovitých spojů na lepeném nosíku [autorka DP - Microsoft Publisher2007, upraveno dle [10]]
- Obr. č. 217: Směr dřevěných lamel v prvku [autorka DP - Microsoft Publisher2007, upraveno dle [10]]
- Obr. č. 218: Kombinovaný průřez lepeného lamelového nosníku [autorka DP - Microsoft Publisher2007, upraveno dle [10]]
- Obr. č. 219: Výskyt historických dřevěných lávek a mostů v ČR [17]
- Obr. č. 220: Dřevěný most v Černvíru [82]
- Obr. č. 221: Dřevěný most v obci Kočí-Topol [69]
- Obr. č. 30: Lávka Rechle u Lenory [70]
- Obr. č. 31: Lávka ve Švařci [85]
- Obr. č. 32: Lávka v Prudké [71]

Obr. č. 33: Most v Bystré nad Jizerou [72]

Obr. č. 34: Most v Pekle [87]

Obr. č. 35: Lávka Stachelberg, Trutnov [93]

Obr. č. 36: Pašerácká lávka, Kunvald [94]

Obr. č. 37: Lávka Velká Hřčava [95]

Obr. č. 38: Lávka v zámeckém parku ve Vlašimi [96]

Obr. č. 39: Lávka v Pasohlávkách [75]

Obr. č. 40: Lávka v Nedvědicích [75]

Obr. č. 41: Lávka v Jetřichovicích [75]

Obr. č. 42: Lávka v Nezamyslicích [75]

Obr. č. 43: Lávka v Brně- Obřanech [75]

Obr. č. 44: Lávka v Dolním Němčí [75]

Obr. č. 45: Zavěšená lávka Samota [75]

Obr. č. 22: Visutá lávka v Semilech [88]

Obr. č. 23: Lávka v Novém Boru [89]

Obr. č. 24: Lávka v Rádle u Jablonce [90]

Obr. č. 49: Lávka v Hlubočkách [75]

Obr. č. 50: Lávka u hradu Veverí v Brně [75]

Obr. č. 51: Lávka ve Velké Bystřici [75]

Obr. č. 52: Lávka v Bohuňovicích [75]

Obr. č. 53: Lávka ve Špindlerově Mlýně [75]

Obr. č. 54: Lávka ve Velkých Karlovicích [75]

Obr. č. 55: Výstavba lávky v Haňovicích [75]

Obr. č. 56, č. 57., č. 58: Výstavba lávky Samota - po dílcích [75]

Obr. č. 59, č. 60, č. 61: Výstavba lávky u Kunratického hradu - po jednotlivých částech [75]

Obr. č. 62, č. 63: Most v Hustěnovicích - stav po dokončení výstavby [75]

Obr. č. 64: Absence ochranného nátěru [foto - autorka DP]

Obr. č. 65: Poničený hlavní nosník [foto - autorka DP]

Obr. č. 66: Výskyt dřevokazné houby [foto - autorka DP]

Obr. č. 67: Znečištění prostoru mezi mostinami [foto - autorka DP]

Obr. č. 68: Poničená lávka ve Strunkovicích [foto - Ing. Roman Fojtík, PhD.]

Obr. č. 69: Výskyt dřevokazné houby [foto - Ing. Roman Fojtík, PhD.]

Obr. č. 70: Rozpadající se hlavní nosník v kontaktu se zemí [foto - Ing. Roman Fojtík, PhD.]

Obr. č. 71: Původní stav lávky [75]

Obr. č. 72: Zatékání vody na hlavních nosnících a zvětralý ochranný nátěr [foto - autorka DP]

Obr. č. 73: Neodborný zásah do nosné konstrukce [foto - autorka DP]

Obr. č. 74: Vyrůstající plevel na konstrukci [foto - autorka DP]

Obr. č. 75: Kombinovaný ocelovo-dřevěný most v Českém Krumlově [foto - Ing. Roman Fojtík, PhD]

Obr. č. 76: Trhliny na konstrukci [foto - Ing. Roman Fojtík, PhD]

Obr. č. 77: Nečistoty v trhlínách [foto - Ing. Roman Fojtík, PhD]

Obr. č. 78: Výskyt dřevokazné houby [foto - Ing. Roman Fojtík, PhD]

Obr. č. 79: Výskyt dřevokazné houby [foto - Ing. Roman Fojtík, PhD]

Obr. č. 80: Lávka před zřícením [91]

Obr. č. 81: Lávka po havárii [93]

Obr. č. 82: Vzorek V_1 [autorka DP- Microsoft Publisher2007]

Obr. č. 83: Řezy vzorku V_1 [autorka DP- Microsoft Publisher2007]

Obr. č. 84: Místa měření vlhkosti na řezu [autorka DP- Microsoft Publisher2007]

Obr. č. 85: Vlhkost na řezu vzorku V_1-1B [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 86: Vlhkost na řezu vzorku V_1-2A [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 87: Vlhkost na řezu vzorku V_1-2B [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 88: Vlhkost na řezu vzorku V_1-3A [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 89: Vlhkost na řezu vzorku V_1-3B [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 90: Vlhkost na řezu vzorku V_1-4A [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 91: Vlhkost na řezu vzorku V_1-4B [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 92: Vlhkost na řezu vzorku V_1-5A [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 93: Vlhkost na řezu vzorku V_1-4B [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 94: Vlhkost na řezu vzorku V_1-5A [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 95: Vlhkost na řezu vzorku V_1-6B [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 96: Vlhkost na řezu vzorku V_1-7A [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 97: Vlhkost na řezu vzorku V_1-7B [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 98: Vlhkost na řezu vzorku V_1-8A [autorka DP - program Voxler]

Obr. č. 99: Vzorek O_1 po odtrhových zkouškách [foto - autorka DP]

Obr. č. 200: Vzorek V_1-3 po odtrhové zkoušce [foto - autorka DP]

Obr. č. 101: Ilustrace zhotovení vzorku pro tahové zkoušky [autorka DP- Microsoft Publisher2007]

Obr. č. 102: Průběh tahové zkoušky [foto - autorka DP]

Obr. č. 103: Průběh tahové zkoušky [foto - autorka DP]

Obr. č. 104: Průběh tahové zkoušky [foto - autorka DP]

Obr. č. 105: Počáteční imperfekce [foto - autorka DP]

Obr. č. 106: Trhlina od počáteční imperfekce [foto - autorka DP]

Obr. č. 107: Poškození po zatěžování [foto - autorka DP]

Obr. č. 108: Hmota po zatěžování s minimálními deformacemi [foto - autorka DP]

Obr. č. 109: Lokace lávky [92]

Obr. č. 110: Lávka Velký Šenov [foto - autorka DP]

Obr. č. 111: Schéma nosné konstrukce [autorka DP - ArchiCAD 17]

Obr. č. 112: Statické schéma mostiny [autorka DP - ArchiCAD 17]

Obr. č. 113: Statické schéma podélníku [autorka DP ArchiCAD 17]

Obr. č. 114: Statické schéma příčnicku [autorka DP ArchiCAD 17]

Obr. č. 115: Statické schéma hlavního nosníku [autorka DP- ArchiCAD 17]

Obr. č. 116: Prutový model konstrukce [autorka DP- Scia Engineer]

Obr. č. 117: Desko-stěnový model konstrukce [autorka DP- Scia Engineer]

Obr. č. 118: Posouvající síly na prutového modelu [autorka DP- Scia Engineer]

Obr. č. 119: Ohybové momenty na prutovém modelu [autorka DP- Scia Engineer]

Obr. č. 120: Posouvající síly příčnicku z prutového modelu [autorka DP- Scia Engineer]

Obr. č. 121: Ohybové momenty příčnicku z prutového modelu [autorka DP- Scia Engineer]

Obr. č. 122: Posouvající síly hlavního nosníku z prutového modelu [autorka DP- Scia Engineer]

Obr. č. 123: Ohybové momenty hlavního nosníku z prutového modelu [autorka DP- Scia Engineer]

Obr. č. 124: Statické schéma výpočtu pro statickou zkoušku [autorka DP - ArchiCAD 17]

Obr. č. 125: Průhyb na prutovém modelu pro porovnání se statickou zatěžovací zkouškou [autorka DP- Scia Engineer]

Obr. č. 126: Průhyb na plošném modelu pro porovnání se statickou zatěžovací zkouškou [autorka DP- Scia Engineer]

Obr. č. 127: Napětí na hlavním nosníku desko-stěnového modelu [autorka DP - Scia Engineer]

Obr. č. 128: Umístění seizmických snímačů zrychlení [autorka DP]

Obr. č. 129: Dominantní svislé kmitání prutového modelu [autorka DP - Scia Engineer]

Obr. č. 130: Dominantní svislé kmitání plošného modelu [autorka DP - Scia Engineer]

Obr. č. 131: Princip výpočtu kmitání [20]

9.3 Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Sestavy zatížení lávek

Tabulka č. 2 Mezní odchylky vlastních frekvencí konstrukce

Tabulka č. 3 Třídy ohrožení dřeva

Tabulka č. 4 Vlhkost na řezech

Tabulka č. 5 Odtrhová zkouška

Tabulka č. 6: Tahová zkouška

9.4 Seznam grafů

Graf č. 1: Hranice hodnot efektivního zrychlení

Graf č. 2: Druhy lesů v ČR

Graf č. 3: Druhovú skladba dřevin v ČR

Graf č. 4: Vlhkost vzorku

Graf č. 5: Maximální dosažené napětí při odtrhové zkoušce

Graf č. 6: Průběh tahové zkoušky do hodnoty maximální síly s příslušnou deformací

Graf č. 7: Průběh tahové zkoušky do hodnoty maximální síly s příslušnou deformací

Graf č. 8: Průběh tahové zkoušky do hodnoty maximální deformace

Graf č. 9: Změna modulu pružnosti vlivem teploty

Graf č. 10: Nárůst průhybu při zatěžovací zkoušce